



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



TESE

RENER LUCIANO DE SOUZA FERRAZ

**PALMA FORRAGEIRA FERTIRRIGADA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO:
ESTIMATIVA META-ANALÍTICA DA PRODUTIVIDADE, ESTADO
NUTRICIONAL E COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA**

CAMPINA GRANDE - PB

JUNHO DE 2018

RENER LUCIANO DE SOUZA FERRAZ
Lic. e M.Sc. em Ciências Agrárias

**PALMA FORRAGEIRA FERTIRRIGADA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO:
ESTIMATIVA META-ANALÍTICA DA PRODUTIVIDADE, ESTADO
NUTRICIONAL E COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA**

Orientador: Profº. Dr. José Dantas Neto – UAEEA/CTRN/UFCG

Orientador: Profº. Dr. Alberto Soares de Melo – PPGCA/UEPB

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

CAMPINA GRANDE - PB

JUNHO DE 2018

F381p

Ferraz, Renner Luciano de Souza.

Palma forrageira fertirrigada no semiárido brasileiro: estimativa meta-analítica da produtividade, estado nutricional e composição bromatológica / Renner Luciano de Souza. – Campina Grande, 2018.

111 f.: il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2018.

"Orientação: Prof. Dr. José Dantas Neto, Prof. Dr. Alberto Soares de Melo".

Referências.

1. Cactaceae. 2. *Opuntia ficus-indica*. 3. *Napolea cochenillifera*. 4. Meta-análise. 5. Nutrição Mineral. 6. Bromatologia. I. Dantas Neto, José. II. Melo, Alberto Soares de. III. Título.

CDU 582.661.56(83)(043)



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

RENER LUCIANO DE SOUZA FERRAZ

**“PALMA FORRAGEIRA FERTIRRIGADA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO:
ESTIMATIVA META-ANALÍTICA DA PRODUÇÃO, ESTADO NUTRICIONAL
E COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA”**

APROVADO: 11 DE JUNHO DE 2018

BANCA EXAMINADORA

Dr. José Dantas Neto

Orientador - UAEA/CTRN/UFCG

Dr. Alberto Soares de Melo

Co-orientador - UEPB

Dr. Dermeval Araújo Furtado

Examinador – UAEA/CTRN/UFCG

Dra. Vera Lucia Antunes de Lima

Examinadora - UAEA/CTRN/UFCG

Dr. Flávio da Silva Costa

Examinador - UNIFAP

Dr. José Félix de Brito Neto

Examinador - UEPB

Dra. Patrícia Ferreira da Silva

Examinadora – PNPd/CAPES/UFCG

DEDICATÓRIA

Aos meus avós Júlia Souza e João Souza (*In memoriam*),
a meu pai Sebastião de Souza, minha
mãe Maria José B. da Silva,
minha madrastra Marluce
e demais familiares

Dedico

Aos mestres que contribuíram direta ou indiretamente
para minha formação acadêmica e profissional,
José Dantas Neto, Alberto Soares de Melo e
Napoleão E. de M. Beltrão (*In memoriam*)

Ofereço

EPÍGRAFE

O “cabra” para viver nesse sertão não precisa de muito,
basta uma enxada boa e coragem para revirar
a terra e plantar feijão de corda, milho,
melancia, batata e jerimum.

André Souza

O Sertanejo que possui a grandeza e a humildade
de reconhecer suas raízes, tem uma grande
chance de galgar conquistas
surpreendentes.

Ronierison de Souza Maciel

Sou a favor da internacionalização da cultura, mas não
acabando as peculiaridades locais e nacionais.
Não troco meu “Oxente” pelo “Ok”
de ninguém.

Ariano Suassuna

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela concepção de uma oportunidade para realizar minha missão na Terra, além de iluminar meus caminhos mostrando-me sempre a trilha para a felicidade.

Ao meu Pai Sebastião de Souza, pela compreensão, amizade, apoio e, acima de tudo, pelos ensinamentos eternos que me fizeram perceber o valor dos estudos.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Dantas Neto, pela confiança depositada, compreensão e oportunidades dadas durante o período em que estive sob sua orientação.

Ao meu co-orientador Alberto Soares de Melo, pelo apoio e acolhida nos momentos turbulentos, por acreditar no potencial e confiar no rigor do meu trabalho.

À minha noiva Patrícia da Silva Costa, pelo auxílio na realização das análises bromatológicas, apoio, carinho e compreensão incondicionais durante esta fase.

Aos amigos leais e verdadeiros, na pessoa de Ivomberg Dourado Magalhães e todos os demais que trarei sempre do lado esquerdo do peito.

À equipe executora do projeto “Uso racional da água na irrigação da palma forrageira no semiárido do Brasil” - Chamada Universal - MCTI/CNPq Nº 14/2013.

Aos colegas e parceiros de pesquisa Antônio Suassuna de Lima, Rigoberto Moreira de Matos e Patrícia Ferreira da Silva, pelo apoio na condução do experimento.

À mestre em Zootecnia Ana Paula Figueirêdo de Sousa, pela disponibilização dos dados brutos de sua dissertação de mestrado para uso na meta-análise desta tese.

Aos colegas do curso de doutorado em Engenharia Agrícola, na pessoa de Antônio Erivando Bezerra, pelo companheirismo e ajuda nas disciplinas do curso.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em especial a Prof^a. Vera Lúcia A. de Lima, pelos ensinamentos, acolhida e confiança.

Aos técnicos do Laboratório de Nutrição Animal da UFCG, nas pessoas de Otávio Santos e Andreza Guedes, pelo apoio durante as análises bromatológicas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

À Universidade Federal de Campina Grande, Universidade Estadual da Paraíba e Universidade Estadual Paulista, por terem oportunizado meu aperfeiçoamento enquanto profissional das Ciências Agrárias.

Enfim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho e formação de recurso pessoal para a sociedade brasileira.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	XIII
GENERAL SUMMARY	XIV
1. INTRODUÇÃO GERAL	15
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo Geral	16
2.2. Objetivos Específicos	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1. Palma Forrageira.....	17
3.1.1. Origem e distribuição geográfica	17
3.1.2. Aspectos botânicos e morfológicos	18
3.1.3. Principais variedades	19
3.1.4. Importância socioeconômica	20
3.1.5. Necessidade de irrigação	21
3.1.6. Estado nutricional	22
3.1.7. Composição bromatológica	23
3.2. Meta-Análise	24
3.2.1. Modelo de efeitos fixos	25
3.2.2. Modelo de efeitos aleatórios.....	25
3.2.3. Meta-análise na agricultura	26
3.3. Análises multivariadas de dados.....	27
4. LITERATURA CITADA	28
5. CAPÍTULO 1	39
5.1. Estimativa do Ganho de Produtividade de Palma Forrageira Irrigada e Adubada: Revisão Sistemática e Meta-Análise	39

5.1.1. Introdução	40
5.1.2. Material e Métodos	41
5.1.3. Resultados e Discussão	44
5.1.4. Conclusão	56
5.1.5. Literatura Citada	57
6. CAPÍTULO 2	63
6.1. Composição Mineral de Variedades de Palma Forrageira sob Níveis de Reposição Hídrica e Fertirrigação com Nitrogênio	63
6.1.1. Introdução	64
6.1.2. Material e Métodos	66
6.1.3. Resultados e Discussão	70
6.1.4. Conclusões	80
6.1.5. Literatura Citada	80
7. CAPÍTULO 3	87
7.1. Composição Bromatológica de Variedades de Palma Forrageira sob Níveis de Reposição Hídrica e Fertirrigação com Nitrogênio	87
7.1.1. Introdução	88
7.1.2. Material e Métodos	89
7.1.3. Resultados e Discussão	94
7.1.4. Conclusões	103
7.1.5. Literatura Citada	104

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Diagrama de fluxo do processo de seleção de referências para revisão sistemática e obtenção de dados para meta-análise. Campina Grande, PB, 2017..... 44
- Figura 2.** Dendrograma da análise de agrupamento (Cluster Analysis) das entradas de dados e formação de subgrupos com homogeneidade dentro e heterogeneidade entre subgrupos. Campina Grande, PB, 2017..... 46
- Figura 3.** Forest plot da distribuição de diferenças de produtividade de palma forrageira irrigada comparada à cultivada em condições de sequeiro no primeiro subgrupo. LI: limite inferior, LS: limite superior, D: diferença de produtividade, MD: média das diferenças, (■): tamanho do efeito e (◆): estimativa meta-analítica. Campina Grande, PB, 2017. 50
- Figura 4.** Forest plot da distribuição de diferenças de produtividade de palma forrageira irrigada comparada à cultivada em condições de sequeiro no segundo subgrupo. LI: limite inferior, LS: limite superior, D: diferença de produtividade, MD: média das diferenças, (■): tamanho do efeito e (◆): estimativa meta-analítica. Campina Grande, PB, 2017. 51
- Figura 5.** Forest plot da distribuição de diferenças de produtividade de palma forrageira irrigada comparada à cultivada em condições de sequeiro no terceiro subgrupo. LI: limite inferior, LS: limite superior, D: diferença de produtividade, MD: média das diferenças, (■): tamanho do efeito e (◆): estimativa meta-analítica. Campina Grande, PB, 2017. 52
- Figura 6.** Forest plot da distribuição de diferenças de produtividade de palma forrageira irrigada comparada à cultivada em condições de sequeiro no quarto subgrupo. LI: limite inferior, LS: limite superior, D: diferença de produtividade, MD: média das diferenças, (■): tamanho do efeito e (◆): estimativa meta-analítica. Campina Grande, PB, 2017..... 53
- Figura 7.** Forest plot da distribuição de diferenças de produtividade de palma forrageira irrigada comparada à cultivada em condições de sequeiro no quinto subgrupo. LI: limite inferior, LS: limite superior, D: diferença de produtividade, MD: média das diferenças, (■): tamanho do efeito e (◆): estimativa meta-analítica. Campina Grande, PB, 2017..... 54
- Figura 8.** Probabilidade de ocorrência (A) e de não ocorrência (B) de incremento de produtividade da palma forrageira sob lâminas de irrigação. Campina Grande, PB, 2017..... 56

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Climograma das variáveis meteorológicas registradas durante o período de condução do experimento. Santa Luzia, PB, 2015/2016. 66
- Figura 2.** Projeção bidimensional (Biplot) dos níveis de reposição da ETo (A) e correlação de variáveis (B) da palma forrageira ‘Baiana’ nos dois primeiros Componentes Principais (CP₁ e CP₂). Campina Grande, PB, 2018..... 72
- Figura 3.** Projeção bidimensional (Biplot) dos níveis de reposição da ETo (A) e correlação de variáveis (B) da palma forrageira ‘Miúda’ nos dois primeiros Componentes Principais (CP₁ e CP₂). Campina Grande, PB, 2018..... 74
- Figura 4.** Projeção bidimensional (Biplot) dos níveis de reposição da ETo (A) e correlação de variáveis (B) da palma forrageira ‘Orelha de Elefante Mexicana’ nos dois primeiros Componentes Principais (CP₁ e CP₂). Campina Grande, PB, 2018..... 77

CAPÍTULO 3

- Figura 1.** Climograma das variáveis meteorológicas registradas durante o período de condução do experimento. Santa Luzia, PB, 2015/2016..... 90
- Figura 2.** Teores de matéria seca (A), mineral (B), proteína bruta (C) e extrato etéreo (D) de variedades de palma forrageira sob níveis de reposição da ETo. BA: Baiana (—●—), MI: Miúda (--◆--) e OR: Orelha de Elefante Mexicana (··■··). Campina Grande, PB, 2018. 96
- Figura 3.** Teores de fibras insolúveis em detergente neutro (A), em detergente ácido (B), carboidratos não fibrosos (C) e carboidratos totais (D) de variedades de palma forrageira sob níveis de reposição da ETo. BA: Baiana (—●—), MI: Miúda (--◆--) e OR: Orelha de Elefante Mexicana (··■··). Campina grande, PB, 2018. 99
- Figura 4.** Projeção bidimensional (Biplot) das combinações de variedades de palma forrageira e níveis de reposição da ETo (A) e correlação de variáveis (B) nos dois primeiros Componentes Principais (CP₁ e CP₂). Campina Grande, PB, 2018. 103

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

- Tabela 1.** Testes de normalidade de Shapiro-Wilk (S-W) e Kolmogorov-Smirnov (K-S) para dados de produtividade de palma irrigada e de sequeiro. Campina Grande, PB, 2017. 47
- Tabela 2.** Resumo dos testes de heterogeneidade e dos efeitos gerais das meta-análises de todas as entradas de dados dos experimentos e dos dados de subgrupos. Campina Grande, PB, 2017. 48

CAPÍTULO 2

- Tabela 1.** Caracterização química do complexo sortivo e extrato de saturação do solo da área experimental em duas profundidades. Santa Luzia, PB, 2015..... 67
- Tabela 2.** Caracterização físico-hídrica do solo da área experimental em duas profundidades. Santa Luzia, PB, 2015. 67
- Tabela 3.** Autovalores, variância, coeficientes de correlação entre Componentes Principais e variáveis e médias de tratamentos na palma forrageira variedade ‘Baiana’. Campina Grande, PB, 2018. 71
- Tabela 4.** Autovalores, variância, coeficientes de correlação entre Componentes Principais e variáveis e médias de tratamentos na palma forrageira variedade ‘Miúda’. Campina Grande, PB, 2018. 73
- Tabela 5.** Autovalores, variância, coeficientes de correlação entre Componentes Principais e variáveis e médias de tratamentos na palma forrageira variedade ‘Orelha de Elefante Mexicana’. Campina Grande, PB, 2018..... 76

CAPÍTULO 3

- Tabela 1.** Caracterização química do complexo sortivo e extrato de saturação do solo da área experimental em duas profundidades. Santa Luzia, PB, 2015..... 90
- Tabela 2.** Caracterização físico-hídrica do solo da área experimental em duas profundidades. Santa Luzia, PB, 2015. 91
- Tabela 3.** Resumo das análises de variância dos constituintes bromatológicos de variedades de palma forrageira sob níveis de reposição da evapotranspiração de referência. Campina Grande, PB, 2018. 95
- Tabela 4.** Autovalores, variância explicada, efeito de tratamentos e coeficientes de correlação entre Componentes Principais e variáveis. Campina Grande, PB, 2018. 101

FERRAZ, Rener Luciano de Souza. **Palma forrageira fertirrigada no semiárido brasileiro: estimativa meta-analítica da produtividade, estado nutricional e composição bromatológica**. 2018. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2018.

RESUMO GERAL

Objetivou-se avaliar variedades de palma forrageira cultivadas sob diferentes níveis de reposição da evapotranspiração de referência (ET_o) no semiárido brasileiro, obtendo-se informações meta-analíticas preliminares e previsibilidade de produtividade da cultura, além de quantificar componentes do estado nutricional e composição bromatológica da produção da cultura. A estimativa do ganho de produtividade foi realizada utilizando-se de revisão sistemática e meta-análise. Para determinação do estado nutricional e composição bromatológica, foi conduzido experimento de campo, em blocos casualizados, instalado em esquema fatorial 3x5, sendo três variedades de palma forrageira (Baiana, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana) e cinco níveis de reposição da evapotranspiração de referência (25, 50, 75, 100 e 125% da ET_o), com três repetições. Foram avaliados os teores dos macronutrientes, N, P, K, Ca, Mg e S e dos micronutrientes Cu, Fe, Mn, Zn, Cl, Na e B, além dos teores de matéria seca, mineral, proteína bruta, extrato etéreo, fibras insolúveis em detergentes neutro e ácido, carboidratos totais e não fibrosos. Constatou-se que os cultivos de palma forrageira irrigados promovem incremento de produtividade de 53,54 t ha⁻¹ ano⁻¹ quando comparados aos cultivos de sequeiro. O nível de reposição de água no solo de 75% da ET_o proporcionou maior equilíbrio entre os nutrientes nos cladódios das variedades de palma forrageira ‘Baiana’ e ‘Miúda’. A variedade ‘Orelha de Elefante Mexicana’ teve melhor balanço nutricional com os níveis de reposição de 100 e 125% da ET_o. Os níveis de reposição de 100 e 125% da ET_o promovem elevado acúmulo de íons Na⁺ e Cl⁻ nos cladódios das variedades de palma forrageira. Dentre as variedades, a ‘Orelha de Elefante Mexicana’ teve maior capacidade de acúmulo de nutrientes, seguida da ‘Baiana’ e da ‘Miúda’, respectivamente. Verificou-se que a variedade ‘Baiana’ obteve maiores teores de proteína bruta e fibras insolúveis em detergente ácido com 85% de reposição da ET_o. A variedade ‘Miúda’ acumulou maior teor de matéria seca e fibras insolúveis em detergente neutro, havendo necessidade de reposição de 60% da ET_o. A variedade ‘Orelha de Elefante Mexicana’ teve maior acúmulo de matéria mineral e produção de carboidratos não fibrosos, sendo recomendada reposição de 90% da ET_o para seu máximo desempenho.

Palavras-chave: Cactaceae. *Opuntia ficus-indica*. *Nopalea cochenillifera*. Meta-análise. Nutrição mineral. Bromatologia.

FERRAZ, Rener Luciano de Souza. **Fertigated forage cactus in the Brazilian semi-arid region: meta-analytical estimate of productivity, nutritional status and bromatological composition** 2018. 111 f. Thesis (PhD in Agricultural Engineering) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2018.

GENERAL SUMMARY

The objective of this study was to evaluate forage cactus varieties grown under different levels of reference evapotranspiration (ET_o) replacement in the Brazilian semi-arid region, obtaining preliminary meta-analytical information and crop productivity predictability, as well as quantifying components of nutritional status and bromatological composition of crop production. The estimation of productivity gain was performed using systematic review and meta-analysis. To determine the nutritional status and bromatological composition, a randomized field experiment was carried out in a 3x5 factorial scheme, with three forage cactus varieties (Baiana, Miúda and Orelha de Elefante Mexicana) and five reference evapotranspiration replacement levels (25, 50, 75, 100 and 125% of ET_o) with three replicates. Macronutrients, N, P, K, Ca, Mg and S, and Cu, Fe, Mn, Zn, Cl, Na and B were evaluated, as well as dry matter, mineral, crude protein, ethereal extract, fibers insoluble in neutral and acid detergents, total and non-fibrous carbohydrates. It was found that irrigated forage palm crops promoted a productivity increase of 53.54 t ha⁻¹ year⁻¹ when compared to rainfed crops. The soil water replacement level of 75% of ET_o provided a better balance between nutrients in the cladodes of the ‘Baiana’ and ‘Miúda’ forage cactus varieties. The ‘Orelha de Elefante Mexicana’ variety had a better nutritional balance with 100 and 125% ET_o replacement levels. The replacement levels of 100 and 125% of the ET_o promoted a high accumulation of Na⁺ and Cl⁻ ions in the cladodes of the forage cactus varieties. Among the varieties, the ‘Orelha de Elefante Mexicana’ had a greater capacity for nutrient accumulation, followed by ‘Baiana’ and ‘Miúda’, respectively. It was verified that the ‘Baiana’ variety obtained higher levels of crude protein and acid detergent insoluble fibers with 85% ET_o replacement. The ‘Miúda’ variety accumulated higher content of dry matter and insoluble fibers in neutral detergent, requiring a 60% replacement of ET_o. The ‘Orelha de Elefante Mexicana’ variety had higher accumulation of mineral matter and production of non-fibrous carbohydrates, being recommended 90% replacement of ET_o for its maximum performance.

Keywords: Cactaceae. *Opuntia ficus-indica*. *Nopalea cochenillifera*. Meta-analysis. Mineral nutrition. Bromatology.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Desde os primórdios da agricultura, os agricultores têm buscado estratégias para convivência com as adversidades do ambiente, e conhecer os fatores que influenciam a produtividade agrícola consiste em estratégia de adaptação às mudanças ambientais, sobretudo no que tange ao planejamento agrícola, de modo a assegurar a produção e produtividade nos agroecossistemas (SUN *et al.*, 2018; QIAO *et al.*, 2018; KHANAL *et al.*, 2018).

As mudanças climáticas afetam a distribuição espacial e temporal das chuvas, podendo causar déficit hídrico às culturas. A crescente demanda por maiores quantidades de alimentos impulsiona maior consumo de recursos hídricos, cenário que tem aumentado a pressão sobre as fontes de água, notadamente para atender aos cultivos irrigados (CHEN *et al.*, 2018; DELL'ANGELO *et al.*, 2018; TAN *et al.*, 2018).

Dentre as culturas potenciais para aumento de produção sob irrigação no semiárido brasileiro, destaca-se a palma forrageira, principalmente por constituir-se em importante fonte de proteínas, minerais, gorduras, carboidratos, fibras, energia e ácidos graxos, com elevada capacidade antioxidante (SANTIAGO *et al.*, 2018), utilizada para fins medicinais (PAWAR *et al.*, 2017), matéria-prima na fabricação de cosméticos e tratamento de águas residuárias (JAYALAKSHMI *et al.*, 2017; RACHDI *et al.*, 2017).

A palma forrageira é um cacto adaptado às condições edafoclimáticas do semiárido, notadamente em virtude de seu mecanismo morfofisiológico CAM (metabolismo ácido crassuláceo), o que lhe confere maior eficiência na utilização de CO₂ e água (PEREIRA *et al.*, 2017) e o conhecimento da dinâmica de água no solo auxilia a tomada de decisões acerca do suprimento hídrico da palma, justificando o desenvolvimento de pesquisas com palma forrageira irrigada (MORAIS *et al.*, 2017).

O custo de implantação e demanda de tempo com ensaios experimentais tem encorajado os cientistas a utilizarem meta-análise para levantamento de evidências que sustentem as hipóteses (SHIN, 2017). Sabendo-se que variações de chuvas e uso de irrigação influenciam o rendimento da palma forrageira, a estimativa meta-analítica do ganho de produtividade de palma irrigada em relação ao cultivo de sequeiro pode auxiliar na estimativa de produtividade em cenários futuros (DIXIT *et al.*, 2018). Contudo, avaliar a produtividade, estado nutricional e bromatologia da palma forrageira sob níveis de reposição da ETo é imprescindível para validação destas estimativas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar variedades de palma forrageira cultivadas sob diferentes níveis de reposição da evapotranspiração de referência (ET_o) e fertirrigação com nitrogênio no semiárido brasileiro, obtendo-se informações meta-analíticas preliminares e previsibilidade de produtividade da cultura, além de quantificar componentes do estado nutricional e composição bromatológica da produção de palma forrageira.

2.2. Objetivos Específicos

Estimar a média meta-analítica e ganho de produtividade de palma forrageira cultivada com irrigação e adubação em relação ao cultivo de sequeiro;

Quantificar os componentes do estado nutricional das variedades de palma forrageira ‘Baiana’, ‘Miúda’ e ‘Orelha de Elefante Mexicana’ cultivadas sob níveis de reposição da evapotranspiração de referência (ET_o) e fertirrigação com nitrogênio no semiárido brasileiro;

Avaliar a composição bromatológica das variedades de palma forrageira cultivadas sob níveis de reposição da ET_o e fertirrigação com nitrogênio no semiárido brasileiro.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Palma Forrageira

3.1.1. Origem e distribuição geográfica

A palma forrageira é uma espécie nativa do México, sendo explorada para diversas finalidades neste país desde o período pré-hispânico, salienta-se que esse país é detentor da maior riqueza de cultivares da espécie (REYES-AGUERO *et al.*, 2005; MARQUES *et al.*, 2017). Além do centro de origem, a palma possui ampla distribuição geográfica, sendo cultivada na América do Sul, África e Europa (ROCHA, 2012). Sua amplitude de distribuição em ambientes distintos, com ampla faixa de espécies, se deve à sua alta variação genética, que se origina das mais diversas condições agroclimáticas das áreas de onde são nativas, encontrando-se tanto de forma selvagem como de forma cultivada (SÁENZ, 2006).

A introdução da palma forrageira no Brasil, provavelmente, tenha ocorrido no período colonial, inicialmente destinada à criação da cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae*), com o objetivo de se produzir um corante natural para ser empregado por indústrias têxteis (SIMÕES *et al.*, 2005). As espécies introduzidas passaram a ser vistas como plantas ornamentais e somente por volta de 1915 é que a palma veio a ser utilizada como forragem, despertando o interesse de criadores que passaram a cultivá-la para este fim. Este último uso se intensificou na década de 90 quando ocorreram secas prolongadas no Nordeste (ALBUQUERQUE & SANTOS, 2005).

A área de cultivo com palma forrageira no Brasil é superior a 600 mil hectares, predominantemente no Nordeste e adaptou-se bem ao semiárido por apresentar aspectos fisiológicos que permitem seu pleno desenvolvimento em condições adversas e por ser uma alternativa energética de baixo custo (SILVA & SANTOS, 2006; LOPES *et al.*, 2012). A produção da cultura se expandiu principalmente pelos estados de Alagoas, Pernambuco e Paraíba, o que provavelmente contribuiu para que estes estados até hoje se destaquem como áreas de cultivo de palma no Brasil (PEREIRA & LOPES, 2011).

Na região Nordeste do Brasil, nos períodos de seca, principalmente, são cultivadas as espécies de palma dos gêneros *Opuntia* (variedades ‘Gigante’, ‘Orelha de Elefante Mexicana’ e ‘Redonda’) e *Nopalea* (variedades ‘Miúda’ e ‘Baiana’), que se

destacam como uma das principais fontes de alimentação para os rebanhos (CÂNDIDO *et al.*, 2013) e, atualmente, fazendo parte da dieta humana (FARIAS, 2013).

3.1.2. Aspectos botânicos e morfológicos

A palma forrageira pertence à Divisão: Embryophyta, subdivisão: Angiospermea, classe: Dicotyledoneae, subclasse: Archiclamideae, ordem: Opuntiales e família Cactaceae (SILVA & SANTOS, 2006). A família Cactaceae possui cerca de 130 gêneros e 1500 espécies, das quais 300 são do gênero *Opuntia* (MOHAMED-YASSEEN *et al.*, 1996; REYES-AGUERO *et al.*, 2005; REYES-AGUERO *et al.*, 2006).

As plantas do gênero *Opuntia* são arbustivas, eretas e podem alcançar de 3,5 a 5 m de altura, com sistema radicular superficial e uma raiz principal, que em condições favoráveis de umidade, se concentra em torno de 30 cm de profundidade, enquanto que, em condições de seca desenvolvem ramificações horizontais que se aprofundam para absorver água em níveis mais elevados (ALBUQUERQUE & SANTOS, 2005).

A palma gigante possui como características o seu porte arborescente com 3-5 m de altura, coroa larga, glabra, 60-150 cm de largura do caule, cladódios obovalados com 30 a 60 cm de comprimento, 20 a 40 cm de largura e 19 a 28 mm de espessura. Os cladódios possuem uma cor verde escura, estes são cobertos de uma camada de cera, cuja espessura atinge 10 a 50 μm . As flores possuem de 7 a 9 cm de comprimento, têm cor laranja ou amarela, o pericarpo é 2 a 2,5 vezes mais comprido do que o perianto. O fruto possui sabor doce, é succulento, comestível, apresentando 5 a 10 cm de comprimento e 4 a 8 cm de largura, coloração variável, desde a amarela, laranja e vermelha sendo a polpa succulenta e casca fina. As sementes são obovaladas e discóides com 3 a 4 mm de diâmetro (SCHEINVAR, 2001; SÁENZ, 2006).

As aréolas, botões meristemáticos de onde emergem estruturas como espinhos, flores, novos brotos e gloquídios (pelos espinhosos) são piriformes e estão presentes em ambos os lados dos cladódios. Os espinhos são quase ausentes, e quando presentes medem aproximadamente 1 cm de comprimento. Já os gloquídios são curtos, esclerificados e numerosos quando comparados com os espinhos, e sua superfície é coberta de escamas barbadas. Os estômatos aparecem uniformemente de ambos os lados

da superfície do cladódio. Na *Opuntia ficus-indica* existem cerca de 15 a 35 estômatos por mm² (SUDZUKI-HILLS, 2001; OLIVEIRA, 2008; FARIAS, 2013).

As palmas das variedades ‘Miúda’ ou Doce (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm Dyck) possui cladódios, em média, de 25 cm de comprimento com formato abovado (base mais fina que a ponta) e coloração verde intenso brilhante, o caule apresenta grande ramificação e de pequeno porte, as flores são vermelhas e durante o ciclo a corola permanece semiaberta, o fruto tem formato de baga e com cor roxa (SILVA & SANTOS, 2006; MARQUES *et al.*, 2017).

As plantas desta variedade apresentam raízes bem desenvolvidas “volumosas”, com distribuição variando com o tipo de solo e manejo adotado, mas com predominância de raízes superficiais, distribuídas na horizontal, conferindo maior sobrevivência a grandes períodos de seca, sobretudo por apresentarem características xeromórficas (adaptadas a climas semiárido e árido). Em geral, suas raízes atingem a máxima profundidade de 30 cm e dispersão de 4 a 8 cm em diferentes tipos de solo (SUDZUKI-HILLS, 2001; MARQUES *et al.*, 2017).

3.1.3. Principais variedades

A variedade ‘Orelha de Elefante Mexicana’ ou Palmepa – PB3 (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) é originária do México e África. Suas vantagens residem na resistência à cochonilha do carmim e na menor exigência em fertilidade de solo (CAVALCANTI *et al.*, 2008; VASCONCELOS *et al.*, 2009). Conforme descrito por Neves *et al.* (2010), esta variedade é dotada de elevada quantidade de espinhos, característica indesejável para a alimentação dos animais pelo difícil manejo. Contudo, os espinhos ajudam na redução da temperatura do caule durante o dia e assim, aumenta a tolerância à seca (MARQUES *et al.*, 2017).

A variedade ‘Baiana’ ou Palmepa – PB1 (*Nopalea cochenillifera* Salm – Dyck) possui crescimento vertical, boa produtividade, é palatável aos animais, rica em carboidratos e pouca resistência à seca quando comparada à palma gigante, resistente à cochonilha do carmim (SENAR, 2013; SILVA, 2017).

A variedade ‘Miúda’ ou Palmepa – PB4 (*Nopalea cochenillifera* Salm – Dyck) é caracterizada por sua principal forma de crescimento ser vertical (SENAR, 2013; SILVA, 2017), apresenta maior resistência à cochonilha do carmim (*Dactylopius*

opuntiae Cockerell) (VASCONCELOS *et al.*, 2009) e maior produção de matéria seca comparada às variedades ‘Gigante’ e ‘Redonda’, apesar da menor produção de matéria verde e resistência à déficits hídricos mais severos (SANTOS *et al.*, 2006).

3.1.4. Importância socioeconômica

Por ser uma cactácea que apresenta características morfofisiológicas de adaptação às condições do semiárido, a palma passou a ser cultivada em larga escala no Nordeste brasileiro, constituindo-se como uma das principais culturas do período de seca. Estima-se que existem nesta Região aproximadamente 600 mil hectares distribuídos nos estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Ceará, Rio Grande do Norte, Sergipe, Piauí e Bahia, representando 90% de toda a área plantada no Brasil (LOPES *et al.*, 2012; FARIAS, 2013).

O uso da palma forrageira possibilita a obtenção de vários produtos e subprodutos, com destaque para uso na alimentação humana e animal, na medicina humana, na indústria de cosméticos, na produção de aditivos naturais, como fonte de energia, dentre outros usos nobres, a exemplo da fabricação de colas, adesivos, corantes e mucilagem. Por estes motivos, a cultura representa uma alternativa de renda para os que habitam as regiões áridas e semiáridas em diferentes partes do mundo (SÁENZ, 2000; FLORES-VALDEZ, 2001; SÁENZ *et al.*, 2004; DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2010).

É uma cultura detentora de grande potencial, capaz de contribuir positivamente na viabilidade econômica das pequenas e médias propriedades, notadamente na alimentação dos rebanhos (GALINDO *et al.*, 2005). O seu cultivo ganha cada vez mais importância com o avanço da desertificação, onde o uso de tecnologias apropriadas e de culturas adequadas garante o desenvolvimento sustentável (OLIVEIRA, 2008).

A palma forrageira tem grande capacidade para produção de fitomassa nas condições climáticas de regiões semiáridas, sendo rica em água, carboidratos não fibrosos, cinzas e com nutrientes digestíveis totais em torno de 63% (da matéria seca), alta resistência à seca, eficiência de uso da água, com baixo teor de fibra insolúvel em detergente neutro e proteína (MELO *et al.*, 2003; FERREIRA, 2005). Pode ser incluída na dieta de ruminantes na forma de farelo desidratado, pastejo ou picada e servida no cocho. Nas dietas a base de palma fresca deve-se levar em conta o baixo teor de matéria seca, proteína bruta e fibras insolúveis em detergente neutro, devendo-se fornecer outras

fontes de fibra para evitar desordens metabólicas nos animais (MARQUES *et al.*, 2017; SILVA, 2017).

3.1.5. Necessidade de irrigação

O déficit hídrico reduz o crescimento e produtividade da palma forrageira. Em regiões com precipitação pluvial inferior a 368 mm há necessidade de irrigação para que a cultura expresse maior potencial produtivo (PEREIRA *et al.*, 2015). Os mecanismos pelos quais o déficit hídrico prejudica as plantas são muito complexos, isso devido à ocorrência de danos que afetam todos os aspectos de crescimento, causando modificações anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas (SILVA, 2017). Dentre os processos que podem ser influenciados pelo estresse hídrico, pode-se destacar o potencial de água no cladódio, a resistência estomática, a transpiração, a fotossíntese, a temperatura da planta e a perda da turgescência celular, ocasionando murcha (SEIXAS *et al.*, 2015; TAIZ *et al.*, 2017).

Embora a palma forrageira seja adaptada às condições de semiárido, ocorrem expressivas reduções em seu aparato fotoquímico sob restrição de água no solo. De fato, no clorênquima ocorre reduções de 42, 34 e 31% nas clorofilas total, *a* e *b*, enquanto que no parênquima as reduções destes pigmentos são de 39, 36 e 26%, respectivamente. A atividade da enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase) é reduzida em 19% no clorênquima e 60% no parênquima. O transporte de elétrons fotossintéticos é reduzido em 29% no clorênquima e aumenta em 150% no parênquima. Eficiência quântica do fotossistema II é reduzida tanto no parênquima quanto no clorênquima (BECERRIL & VALDIVIA, 2006).

A atividade do sistema antioxidante da palma forrageira aumenta sob condições de escassez de água no solo. Isso ocorre devido aos incrementos de metabólitos, como ácidos fenólicos e flavonoides, além da atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (CAMARENA-RANGEL *et al.*, 2017). É importante ressaltar que, sob irrigação, a palma forrageira pode modificar seu metabolismo para CAM-facultativa, salienta-se que os mecanismos pelos quais ocorre esta mudança de metabolismo são pouco compreendidos. No entanto, questiona-se a eficiência de tal mudança metabólica em virtude desta alteração ocorrer em curto intervalo de tempo e pouco contribuir para o

acúmulo de carbono, havendo necessidade de retomada do metabolismo (HERRERA, 2009).

Em virtude de sua elevada tolerância à seca, a palma forrageira nos países mediterrânicos é geralmente cultivada sem irrigação, entretanto, irrigação com baixo volume de água em cultivares de palmas sicilianas melhorou o rendimento e a qualidade da produção. A produção por planta em parcelas irrigadas foi duas vezes superior ao rendimento em parcelas não irrigadas (SILVA *et al.*, 2010; SILVA, 2017).

3.1.6. Estado nutricional

O estudo da nutrição mineral de plantas trata da aquisição de elementos nutritivos e da função desses elementos na vida das plantas. As funções metabólicas e bioquímicas dos elementos químicos fazem o estudo da nutrição de plantas parte integrante da ciência para o completo entendimento dos mecanismos fisiológicos das plantas (EPSTEIN & BLOOM, 2006). Assim, deficiências nutricionais podem afetar diretamente o processo de fotossíntese, a formação de tecidos especializados como o floema e o xilema, pois tais nutrientes são componentes essenciais de enzimas, pigmentos, e até mesmo de ativadores ou catalisadores desses processos (TAIZ *et al.*, 2017).

A exemplo de outras plantas, a palma forrageira necessita de alguns elementos para sobreviver e completar seu ciclo. Três deles, carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O) constituem a maior proporção da planta e são fornecidos pelo ar (CO₂) e pela água (H₂O) (MALAVOLTA, 1980). Além destes, as plantas necessitam dos macronutrientes, exigidos em maiores proporções: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S); e micronutrientes, exigidos em menores proporções: boro (B), cloro (Cl), cobalto (Co), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), selênio (Se), silício (Si) e zinco (Zn) (MARSCHNER, 1986).

Com base no exposto, o uso de adubação é uma importante estratégia de manejo para aumentar a eficiência de produção de palma forrageira, sobretudo pelo ganho de produtividade da cultura em resposta ao manejo da adubação (SOUZA, 1965; SANTOS *et al.*, 1996). De fato, os teores médios de N, P, K e Ca na matéria seca da cultura é de 0,9%, 0,16%, 2,58% e 2,35%, respectivamente (SANTOS *et al.*, 1990), notadamente

para obtenção de uma produtividade média bienal de 40 t ha⁻¹ de matéria seca (SANTOS *et al.*, 2000). Acrescente-se que a cultura extrai cerca de 360 kg de N, 64 kg de P, 1.032 kg de K e 940 kg de Ca, por hectare a cada dois anos, sem considerar os outros macro e micronutrientes (DUBEUX JÚNIOR & SANTOS, 2005).

Estudar o estado nutricional das plantas de palma forrageira é de fundamental importância, notadamente em sistema de alta produtividade. Silva (2017) obteve elevada produtividade de palma forrageira combinando o fornecimento de 600 kg ha⁻¹ de nitrogênio com níveis de reposição da evapotranspiração de referência. Contudo, é imprescindível quantificar os componentes do estado nutricional destas plantas, haja vista que esse ganho produtivo pode reduzir os teores dos nutrientes, e. g. promovendo efeito de diluição (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2006).

Os teores nutricionais clássicos em palma forrageira são descritos por Santos *et al.* (2005). Estes pesquisadores citam que o teor de P varia entre 0,4 e 2 g kg⁻¹, Ca entre 10 e 86,6 g kg⁻¹, K entre 10,9 e 39,5 g kg⁻¹ e Mg entre 5,9 e 21,4 g kg⁻¹. Ressalte-se que estes valores foram obtidos de diferentes espécies de palma forrageira, e. g. *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*, de diferentes experimentos.

Os teores de macro e micronutrientes podem variar em resposta à disponibilidade e limitação dos fatores de produção. Esta informação é ratificada por Dubeux Júnior *et al.* (2010), que verificaram teores de nutrientes variáveis, com valores médios para N, P, K, Ca, Mg e S de 20,62; 4,75; 33,43; 34,43; 7,44 e 6,10 g kg⁻¹, respectivamente, estudando o efeito da interação de fósforo e potássio em palma forrageira. Ressalte-se que a disponibilidade hídrica possui expressiva influência da solubilização destes nutrientes no solo, absorção e translocação dos nutrientes pelas plantas (TAIZ *et al.*, 2017).

3.1.7. Composição bromatológica

As plantas de palma forrageira são fontes de energia, proteína, vitaminas, minerais, folatos, fibras e compostos bioativos, porém, apresenta baixo teor de proteína (SILVA *et al.*, 2015). Investigações mais recentes sobre os componentes químicos e valores nutricionais do cacto têm atraído a atenção de muitos pesquisadores de diferentes áreas científicas (FERNÁNDES-LOPEZ *et al.*, 2010). Seu cultivo é realizado em todo o mundo, sobretudo para produção de forragem, biocombustíveis, fármacos,

alimentação humana e tratamento de água (BAYAR *et al.*, 2018; VOLPE *et al.*, 2018); e principalmente por sua composição físico-química (SANTIAGO *et al.*, 2018).

A palma constitui-se em uma forrageira de alta digestibilidade e teor de carboidratos solúveis, entretanto apresenta baixo teor de proteína bruta (PB) e fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), devendo ser utilizada associada a outro alimento proteico e fibroso. A forrageira apresenta baixos teores de matéria seca (MS), PB, FDN e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), em relação à recomendação de níveis mínimos indicados para ruminantes. Vale ressaltar que a composição química da palma varia conforme a época do ano, idade da planta, ordem do artigo, variedade, manejo de adubação, espaçamento de plantio, entre outros fatores (SANTOS *et al.*, 2005; DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2010).

Os valores clássicos da composição bromatológica são descritos por Santos *et al.* (2005). Na obra, estes pesquisadores reportam que nas espécies de palma forrageira os teores de matéria seca variam entre 7,97 e 16,56%, proteína bruta entre 2,55 e 6,67%, fibra bruta de 5,14 a 28,1%, fibra insolúvel em detergente neutro de 17,6 a 26,7%, fibra insolúvel em detergente ácido de 14,29 a 22,97%, extrato etéreo de 0,84 a 2,32%, carboidratos totais entre 26,16 e 56,63%, com média de carboidratos não fibrosos de 55,06%, com base na matéria seca.

Silva *et al.* (2015) avaliaram a composição química e bromatológica de palma forrageira da espécie *Opuntia ficus-indica* e quantificaram a seguinte: sólidos solúveis de 6,6%, acidez titulável de 0,20, pH de 4,4, umidade de 91%, matéria seca (MS) de 9%, matéria mineral de 1,19% da MS, cálcio de 6,2% da MS, fósforo de 0,13% da MS, proteína total de 0,86% da MS, fibra bruta de 1,65 da MS, açúcares redutores totais de 1,69% da MS e lipídios totais de 0,40% da MS. Para a espécie *Nopalea cochenillifera*, os valores foram: sólidos solúveis de 5,6%, acidez titulável de 0,07, pH de 4,7, umidade de 89,67%, matéria seca de 10,33%, matéria mineral de 1,17% da MS, cálcio de 7,20% da MS, fósforo de 0,10% da MS, proteína total de 0,86% da MS, fibra bruta de 1,37% da MS, açúcares redutores totais de 1,95% da MS e lipídios totais de 0,27% da MS.

3.2. Meta-Análise

A meta-análise pode ser caracterizada como síntese de pesquisas primárias de investigação de um dado fenômeno. Utilizando-se desta técnica, pode-se realizar uma

revisão sistemática da literatura e sumarização das pesquisas primárias, de modo a obter a estimativa meta-analítica da média da variável em estudo. Salienta-se que a técnica pode prover poderoso resultado estatístico amplamente aceito para estimativas de magnitude, consistência e homogeneidade do efeito de interesse a ser avaliado (ROSENBERG *et al.*, 2004; BORENSTEIN *et al.*, 2009; RODRIGUES & ZIEGELMANN, 2010; MADDEN & PAUL, 2011; NGUGI *et al.*, 2011; TUPICH, 2015).

Para estimativa meta-analítica, a partir da análise de variabilidade individual de cada estudo primário, comumente utiliza-se dois tipos de modelos matemáticos, os de efeitos fixos e os de efeitos aleatórios. No modelo de efeitos fixos, assume-se que existe o efeito de tratamento e todas as diferenças observadas neste efeito são devidas a erros de amostragem de dados. Por outro lado, no modelo de efeitos aleatórios, assume-se que o verdadeiro efeito de tratamentos pode variar de estudo a estudo, assumindo que o comportamento da variável em questão pode variar em diferentes ambientes de amostragem (BORENSTEIN *et al.*, 2009; MADDEN & PAUL, 2011; TUPICH, 2015).

3.2.1. Modelo de efeitos fixos

O modelo de efeitos fixos assume que todos os estudos na meta-análise compartilham de influência comum, ou seja, os fatores que influenciam o efeito do tratamento avaliado são os mesmos em todos os estudos, de modo que o comportamento do tratamento avaliado também será igual. Neste modelo, a variação entre estudos é decorrente do erro amostral, o qual pode ser atenuado atribuindo-se pesos diferentes a cada estudo com base na média ponderada e na variância de cada estudo. Acrescente-se que o efeito do tratamento obtido para determinada população não deve ser extrapolado para outras populações (BORENSTEIN *et al.*, 2009; FIELD & GILLET, 2010; RODRIGUES & ZIEGELMANN, 2010; TUPICH, 2015).

3.2.2. Modelo de efeitos aleatórios

Para utilização do modelo de efeitos aleatórios, assume-se que o banco de dados obtido do conjunto de estudos amostrados possui distribuição normal e o efeito do tratamento pode variar entre os estudos. Além do erro amostral, considerado no modelo de efeitos fixos, o modelo de efeitos aleatórios considera também a variação dos dados

entre os estudos, denotando a necessidade de se obter alguma medida de dispersão dos mesmos, como desvio padrão, variância ou coeficiente de variação (BORENSTEIN *et al.*, 2009; FIELD & GILLET, 2010; RODRIGUES & ZIEGELMANN, 2010; TUPICH, 2015).

Não existe uma regra para escolha do modelo, de modo que os critérios já referidos devem ser considerados, notadamente assume-se que uma revisão sistemática envolve estudos de tamanhos amostrais diferentes, a força da evidência de cada estudo não é igual. Neste contexto, quando há diversidade e heterogeneidade entre os estudos, é utilizado o modelo de efeitos aleatórios, que distribui o peso de cada estudo de uma maneira uniforme, valorizando a contribuição dos estudos pequenos (SANTOS & CUNHA, 2013).

3.2.3. Meta-análise na agricultura

A compilação de informações advindas de estudos independentes tem sido dificultada em quase todos os campos da ciência, devido principalmente, ao grande número de trabalhos científicos publicados nos últimos anos (CARVALHO *et al.*, 2012). Utilizando-se de meta-análise para estimativas de herdabilidade de caracteres vegetativos e reprodutivos de *Coffea arabica* L., estes pesquisadores relataram que a técnica sistematizou as estimativas da herdabilidade dos diferentes estudos e possibilitou concluir que todos os caracteres avaliados são altamente herdáveis, refletindo a grande variabilidade genética dos cafeeiros, e possibilitando com que ganhos genéticos satisfatórios possam ser atingidos em programas de melhoramento em que esses caracteres são avaliados.

A análise de resultados de ensaios individuais nem sempre fornece conclusões confiáveis, com isso, técnicas estatísticas como a meta-análise podem ser úteis para estimativa de produtividade a partir de vários estudos (TUPICH *et al.*, 2017). Estes cientistas utilizaram a técnica da meta-análise para estudarem o impacto do controle do mofo-branco com fluazinam na produtividade da soja no sul do Paraná e constataram que a estimativa meta-analítica indicou acréscimo de 414 kg ha⁻¹ com amplitude de 345 a 483 kg ha⁻¹.

No Brasil, embora existam diversas pesquisas com meta-análise na agricultura, a técnica ainda é pouco utilizada. Conforme busca na base de dados Scopus, utilizando-se

o termo “meta-analysis AND agriculture” o Brasil responde por 3,4% da produção científica utilizando esta técnica, evidenciando vasto campo de utilização de meta-análise para estimativas de variáveis importantes para a agricultura brasileira.

3.3. Análises multivariadas de dados

Atualmente, as técnicas de análises multivariadas de dados são amplamente utilizadas na pesquisa científica em diversas áreas do conhecimento (MISHRA & DATTA-GUPTA, 2018). Na agricultura, existem pesquisas com a utilização destas técnicas para avaliar a qualidade bioquímica de corpos hídricos (YIDANA *et al.*, 2018), produtividade de água da cultura do arroz irrigado (MONACO & SALI, 2018), melhoramento do zoneamento edafoclimático (KURINA *et al.*, 2018) e identificação de grãos de milho defeituoso por meio de análise de imagens (ORLANDI *et al.*, 2018).

Neste contexto, é importante ressaltar que, em geral, as diferenças entre populações ou entre amostras são dependentes de um conjunto de variáveis e não apenas de uma. A utilização de uma única variável pode levar a resultados com baixa credibilidade. De fato, existem situações em que a análise de variáveis de forma individual não evidencia diferenças entre grupos, enquanto que a análise global multivariada torna as diferenças evidentes. Isso ocorre em virtude do acúmulo de diferenças das variáveis individuais expressas a partir de suas combinações lineares, denotando a necessidade de se respeitar a estrutura de interdependência de variáveis e realizar análise multivariada sempre que possível (PONTES, 2005; HAIR *et al.*, 2009).

O emprego de técnicas exploratórias de análises multivariadas de dados tem sido realizado com eficiência para facilitar a compreensão de fenômenos complexos, sem que haja perda significativa de informações, notadamente quando se busca reduzir o conjunto de variáveis originais a dimensões menores (HELENA *et al.*, 2000; PALÁCIO, 2004; HAIR *et al.*, 2009).

Dentre os métodos de análise exploratória de dados multivariados, a técnica de Análise Fatorial é largamente utilizada em associação com a Análise de Componentes Principais (ACP) para a extração de informações relevantes acerca do fenômeno em estudo (FERREIRA *et al.*, 2003; ANDRADE *et al.*, 2005; PESTANA *et al.*, 2005).

O método dos Componentes Principais é um dos mais usados para resolver problemas clássicos de análise fatorial. Essa análise permite a redução da dimensão de

dados, facilitando a extração de informações que serão de grande relevância na avaliação das respostas de Cactaceae, gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, sob níveis de reposição da evapotranspiração de referência (HAIR *et al.*, 2009; NICACIO *et al.*, 2013).

É importante ressaltar que até pouco tempo a literatura especializada era escassa quanto a utilização de análises multivariadas em experimentos com palma forrageira (SANTOS *et al.*, 1998). De fato, Ferreira *et al.* (2003) enfatizou que não havia registro de estudos quantitativos envolvendo análises multivariadas na avaliação da palma forrageira e verificaram que este tipo de análise foi eficiente em seus estudos. Recentemente, as técnicas multivariadas, notadamente Análise de Componentes Principais e de Agrupamento Hierárquico, foram utilizadas de maneira eficiente para caracterizar o modo de produção de palma forrageira na região semiárida do estado da Paraíba (LEITE *et al.*, 2014).

4. LITERATURA CITADA

ALBUQUERQUE, S. G.; SANTOS, D. C. Palma Forrageira. In: KILL, L. H. P.; MENEZES, E. A. (Ed.). **Espécies vegetais exóticas com potencialidades para o semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2005. 91-127p.

ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; CRISÓSTOMO, L. A.; SOUZA, I. H.; TEIXEIRA, A. S. Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 2, p. 135-42, 2005.

BAYAR, N.; FRIJI, M.; KAMMOUN, R. Optimization of enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal. **Food Chemistry**, v. 241, p. 127-134, 2018.

BECERRIL, G. A.; VALDIVIA, C. B. P. Alteraciones fisiológicas provocadas por sequía en nopal (*Opuntia ficus-indica*). **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 29, n. 3, p. 231-237, 2006.

BORENSTEIN, M.; HEDGES, L. V.; HIGGINS, J. P. T.; ROTHSTEIN, H. R. **Introduction to Meta-analysis**. United Kingdom: Wiley & Sons Ltd, 2009. 421p.

CAMARENA-RANGEL, N. G.; ROSA, A. P. B. D. L.; HERRERA-CORREDOR, J. A.; SANTOS-DÍAZ, M. D. S. Enhanced production of metabolites by elicitation in

Opuntia ficus-indica, *Opuntia megacantha*, and *Opuntia streptacantha callus*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 129, n. 2, p. 289-298, 2017.

CÂNDIDO, M. J. D.; GOMES, G. M. F.; LOPES, M. N.; XIMENES, L. J. F. Cultivo de palma forrageira para mitigar a escassez de forragem em regiões semiáridas. **Informe Rural Etene**, v. 3, n. 7, p. 1-7, 2013.

CARVALHO, S. P.; CUSTÓDIO, T. N.; BALIZA, D. P.; REZENDE, T. T. Meta-análise para estimativas de herdabilidade de caracteres vegetativos e reprodutivos de *Coffea arabica* L. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 4, p. 1291-1298, 2012.

CAVALCANTI, M. C. A.; BATISTA, A. M. V.; GUIM, A.; LIRA, M. A.; RIBEIRO, V. L.; RIBEIRO NETO, A. C. Consumo e comportamento ingestivo de caprinos e ovinos alimentados com palma gigante (*Opuntia ficus indica* Mill) e palma orelha de elefante (*Opuntia sp*). **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 30, n. 2, p. 173-179, 2008.

CHEN, B.; HAN, M. Y.; PENG, K.; ZHOU, S. L.; SHAO, L.; WU, X. F.; WEI, W. D.; LIU, S. Y.; LI, Z.; LI, J. S.; CHEN, G. Q. Global land-water nexus: Agricultural land and freshwater use embodied in worldwide supply chains. **Science of the Total Environment**, v. 613, p. 931-943, 2018.

DELL'ANGELO, J.; RULLI, M. C.; D'ODORICO, P. The Global Water Grabbing Syndrome. **Ecological Economics**, v. 143, n. 1, p. 276-285, 2018.

DIXIT, P. N.; TELLEIRA, R.; KHATIB, A. N. A.; ALLOUZI, S. F. Decadal analysis of impact of future climate on wheat production in dry Mediterranean environment: A case of Jordan. **Science of The Total Environment**, v. 610, p. 219-233, 2018.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; ARAÚJO FILHO, J. T.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; PESSOA, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira – Clone IPA-201. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, p. 129-135, 2010.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F. dos; LIRA, M. de A.; SANTOS, D. C. dos; FARIAS, I.; LIMA, L. E.; FERREIRA, R. L. C. Productivity of *Opuntia ficus-*

indica (L.) Mill., under different N and P fertilization and plant population in North-east Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 67, n. 3, p. 357-372, 2006.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F. Exigências nutricionais da palma forrageira. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. (Ed.). **A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. 1. ed. Recife: Editora da UFPE, 2005. 105-128p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas – princípios e perspectivas**. 2. ed. Trad. Maria Edna Tenório Nunes. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FARIAS, V. F. S. **Avaliação do desenvolvimento, qualidade e capacidade antioxidante em brotos de palma (*Opuntia* sp.) para o consumo humano**. 2013. 74 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB, 2013.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. A.; ALMELA, L.; OBÓN, J. M.; CASTELLAR, R. Determination of antioxidant constituents in Cactus Pear Fruits. **Plant foods for human nutrition**, v. 65, n. 3, p. 253-259, 2010.

FERREIRA, C. A.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, D. C. dos; SANTOS, M. V. F. dos; SILVA, J. A. A. L. da; LIRA, M. de A.; GONZAGA MOLICA, S. G. Utilização de técnicas multivariadas na avaliação da divergência genética entre clones de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 6, p. 1560-1568, 2003.

FERREIRA, M. A. **Palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. 68p.

FIELD, A. P.; GILLET, R. How to do a meta-analysis. **British Journal of Mathematical and Statistical Psychology**, v. 63, p. 665-694, 2010.

FLORES-VALDEZ, C. A. Produção, industrialização e comercialização de verdura de palma forrageira. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E. P. (Ed.). **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001. 94-102p.

GALINDO, I. C. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; MENEZES, R. S. C. Uso da palma na conservação dos solos. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. (Ed.). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. 163-176p.

HAIR, F. J.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. Tradução Adonai Schlup Sant'Anna. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNANDEZ, J. M.; FERNANDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, v. 34, n. 3, p. 807-16, 2000.

HERRERA, A. Crassulacean acid metabolism and fitness under water deficit stress: if not for carbon gain, what is facultative CAM good for? **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 645-653, 2009.

JAYALAKSHMI, G.; SARITHA, V.; DWARAPUREDDI, B. K. A Review on native plant based coagulants for water purification. **International Journal of Applied Environmental Sciences**, v. 12, n. 3, p. 469-487, 2017.

KHANAL, U.; WILSON, C.; HOANG, V. N.; LEE, B. Farmers' adaptation to climate change, its determinants and impacts on rice yield in Nepal. **Ecological Economics**, v. 144, n. 1, p. 139-147, 2018.

KURINA, F. G.; HANG, S.; CORDOBA, M. A.; NEGRO, G. J.; BALZARINI, M. G. Enhancing edaphoclimatic zoning by adding multivariate spatial statistics to regional data. **Geoderma**, v. 310, p. 170-177, 2018.

LEITE, M. L. de M. V.; SILVA, D. S. da; ANDRADE, A. P. de; PEREIRA, W. E.; RAMOS, J. P. de F. Caracterização da produção de palma forrageira no Cariri paraibano. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 192-200, 2014.

LOPES, E. B.; SANTOS, D. C.; VASCONCELOS, M. F. Cultivo da palma forrageira. In: LOPES, E. B. (Ed.). **Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no Semiárido nordestino**. João Pessoa: EMEPA-PB, 2012. 21-60p.

MADDEN, L. V.; PAUL, P. A. Meta-analysis for evidence synthesis in plant pathology: an overview. **Phytopathology**, v. 101, p. 16-30, 2011.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.

MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S. P.; MOURTHÉ, M. H. F.; BRAZ, T. G. S.; PIRES NETO, O. S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Cadernos de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press Inc., 1986. 674p.

MELO, A. A. S.; FERREIRA, M. A.; VERÁS, A. S. C.; LIRA, M. A.; LIMA, L. E.; VILELA, M. S.; MELO, E. O. S.; ARAÚJO, P. R. B. Substituição parcial do farelo de soja por ureia e palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) em dietas para vacas em lactação. I. Desempenho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 3, p. 727-736, 2003.

MISHRA, S.; DATTA-GUPTA, A. Multivariate Data Analysis. In: MISHRA, S.; DATTA-GUPTA, A. (Ed.). **Applied Statistical Modeling and Data Analytics**. Amsterdã: Elsevier, 2018, 97-118p.

MOHAMED-YASSEEN, Y.; BARRINGER, S. A.; SPLITTSTOESSER, W. E. A note on the uses of *Opuntia* spp. in Central/North America. **Journal of Arid Environments**, v. 32, n. 3, p. 347-353, 1996.

MONACO, F.; SALI, G. How water amounts and management options drive Irrigation Water Productivity of rice. A multivariate analysis based on field experiment data. **Agricultural Water Management**, v. 195, p. 47-57, 2018.

MORAIS, J. E. F. de; SILVA, T. G. F. da; QUEIROZ, M. G. de; ARAUJO, G. G. L. de; MOURA, M. S. B.; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N. Hydrodynamic changes of the soil-cactus interface, effective actual evapotranspiration and its water efficiency under irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 273-278, 2017.

NEVES, A. L. A.; PEREIRA, L. G. R.; SANTOS, R. D. dos; VOLTOLINI, T. V.; ARAÚJO, G. G. L. de; MORAES, S. A. de; ARAGÃO, A. S. L. de; COSTA, C. T. F. **Plantio e uso da palma forrageira na alimentação de bovinos no semiárido brasileiro**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2010. 7p. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 62). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/885598/1/COT62Andre.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2017.

NGUGI, H. H.; ESKER, P. D.; SCHERM, H. Meta-Analysis to determine the effects of plant disease management measures: review and case studies on soybean and apple. **Phytopathology**, v. 101, n. 1, p. 31-41, 2011.

NICACIO, J. E. de M.; PERUSSOLO, M. de A.; LIMA, A. C. S. de S. Análise de variância multivariada – manova na seleção de produtores de laranja *Citrus sinensis* (L.) *Osbeck*. **Revista de Estudos Sociais**, v. 15. n. 30, p. 189-202, 2013.

OLIVEIRA, F. T. **Crescimento do sistema radicular da *Opuntia ficus-indica* (L) Mill (Palma Forrageira) em função de arranjos populacionais e adubação fosfatada**. 2008. 76 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB, 2008.

ORLANDI, G.; CALVINI, R.; FOCA, G.; ULRICI, A. Automated quantification of defective maize kernels by means of Multivariate Image Analysis. **Food Control**, v. 85, p. 259-268, 2018.

PALÁCIO, H. A. Q. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu**, Ceará. 2004. 96 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2004.

PAWAR, A. V.; KILLEDAR, S. G.; DHURI, V. G. Opuntia: Medicinal Plant. **International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology**, v. 3, n. 2, p. 148-154, 2017.

PEREIRA, E. F. P.; LOPES, P. S. Q. **Palma – Ouro Verde do Semiárido**. João Pessoa: FAEPA/SENAR/PB, 2011. 13-16p.

PEREIRA, P. de C.; SILVA, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; MORAIS, J. E. F. de; SANTOS, D. C. dos. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 184-195, 2015.

PEREIRA, P. de C.; SILVA, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; SILVA, M. J. da. Water balance in soil cultivated with forage cactus clones under irrigation. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 776-785, 2017.

PESTANA, M. H.; GAGEIRO, J. N. **Análise de Dados para Ciências Sociais: a complementariedade do SPSS**. 4. ed. Lisboa: Edição Sílabo, 2005.

PONTES, A. C. F. **Análise da variância multivariada com a utilização de testes não-paramétricos e componentes principais baseados em matrizes de postos**. 2005. 117 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 2005.

QIAO, J.; YU, D.; WU, J. How do climatic and management factors affect agricultural ecosystem services? A case study in the agro-pastoral transitional zone of northern China. **Science of the Total Environment**, v. 613, n. 1, p. 314-323, 2018.

RACHDI, R.; SRARFI, F.; SHIMI, N. S. Cactus *Opuntia* as natural flocculant for urban wastewater treatment. **Water Science & Technology**, v. 76, n. 4, p. 1-14, 2017.

REYES-AGUERO, J. A.; AGUIRRE-RIVERA, J. R.; HERNÁNDEZ, H. M. Notas sistemáticas y descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L) Mill. (Cactaceae). **Agrociência**, v. 39, n. 4, p. 395-408, 2005.

REYES-AGUERO, J. A.; AGUIRRE-RIVERA, J. R.; VALIENTE-BANUET, A. Reproductive biology of *Opuntia*: A review. **Journal of Arid Environments**, v. 64, n. 4, p. 549-585, 2006.

ROCHA, J. E. S. **Palma Forrageira no Nordeste do Brasil: Estado do Acre**, 2012. 40p. (Documentos Online. 106). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/96744/1/DOC-106.pdf>>. Acesso em: 15 out 2017.

RODRIGUES, C. L.; ZIEGELMANN, P. K. Metanálise: Um Guia Prático. **Revista do Hospital de Clínicas de Porto Alegre**, v. 30, n. 4, p. 436-447, 2010.

ROSENBERG, M. S.; GARRET, K. A.; SU, Z.; BOWDEN, R. L. Meta-analysis in plant pathology: synthesizing research results. **Phytopathology**, v. 94, p. 1013-1017, 2004.

SÁENZ, C. Características y composición química de los nopales. In: SÁENZ, C.; BERGER, H.; GARCÍA, J. C.; GALLETI, L.; CORTÁZAR, V. G.; HIGUERA, I.; MONDRAGÓN, C.; RODRÍGUEZ-FÉLIX, A.; SEPÚLVEDA, E.; VARNERO, M. T. (Ed.). **Utilización agroindustrial del nopal**. Roma: FAO, 2006. p. 7-22.

SÁENZ, C. Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits and cladodes. **Journal of Arid Environments**, v. 46, p. 209-225, 2000.

SÁENZ, C.; SEPÚLVEDA, E.; MATSUHIRO, B. *Opuntia* spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives. **Journal of Arid Environments**, v. 57, n. 3, p. 275-290, 2004.

SANTIAGO, E. D.; DOMÍNGUEZ-FERNÁNDEZ, M.; CID, C.; PEÑA, M. P. D. Impact of cooking process on nutritional composition and antioxidants of cactus cladodes (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 240, p. 1055-1062, 2018.

SANTOS, D. C. dos; LIRA, M. de A.; DIAS, F. M.; FARIAS, I.; SANTOS, M. V. F.; SANTOS, V. F. dos. Produtividade de cultivares de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) In: Simpósio Nordeste de Alimentação de Ruminantes, 7, 2000, Teresina. **Anais...** Recife: SNPA, 2000. p. 121-123.

SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIRA, M. A.; FERNANDES, A. P. M.; FREITAS, E. V.; MOREIRO, J. A. Produção e composição química da palma forrageira cultivar gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) sob adubação e calagem, no Agreste semi-árido de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 9, n. especial, p. 69-78, 1996.

SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; ARRUDA, G. P.; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. **Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48p. (IPA. Documentos, 30).

SANTOS, E. J. F.; CUNHA, M. Interpretação crítica dos resultados estatísticos de uma meta-análise: estratégias metodológicas. **Millenium**, v. 44, n. 1, p. 85-98, 2013.

SANTOS, M. V. F.; FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; NASCIMENTO, M. M. A.; SANTOS, D. C.; TAVARES FILHO, J. J. Colheita da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) cv. gigante sobre o desempenho de vacas em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 27, n. 1, p. 33-39, 1998.

SANTOS, M. V. F.; FERREIRA, M. A.; BATISTA, A. M. V. Valor nutritivo e utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E V. S. B. (Ed.). **A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. 1. ed. Recife: Editora da UFPE, 2005. 143-162p.

SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. de A.; BURITY, H. A.; FARIAS, I.; SANTOS, M. E. P. dos; NASCIMENTO, M. M. A. do. Número, dimensões e composição química de artículos de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*, Mill) cv. gigante, de diferentes ordens. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 7, n. especial, p. 69-79, 1990.

SCHEINVAR, L. Taxonomia das Opuntias utilizadas. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E. P. (Ed.). **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001. 20-27p.

SEIXAS, A. A.; GOMES, V. M.; SERAFIM, V. F.; VIANA, W. A. Déficit hídrico em plantas forrageiras. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v. 24, n. 1, p. 1-14, 2015.

SENAR. **Palma forrageira: Cultivo de palma forrageira no semiárido brasileiro**. Coleção SENAR. Série II, Brasília, DF, 2013. 52p.

SHIN, I. S. Recent research trends in meta-analysis. **Asian Nursing Research**, v. 11, p. 79-83, 2017.

SILVA, A. P. G. da; SOUZA, C. C. E. de; RIBEIRO, J. E. S.; SANTOS, M. C. G. dos; PONTES, A. L. de S.; MADRUGA, M. S. Características físicas, químicas e bromatológicas de palma gigante (*Opuntia ficus-indica*) e miúda (*Nopalea cochenillifera*) oriundas do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 9, n. 2, p. 1810-1820, 2015.

SILVA, C. C. F.; SANTOS, L. C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 7, n. 10, p. 1-13, 2006.

SILVA, N. G. M.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JR, J. C. B.; MELLO, A. C. L.; SILVA, M. C. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma forrageira. **Brazilian Journal of Animal Science**, v. 39, p. 2389-2397, 2010.

SILVA, P. F. da. **Crescimento e produtividade de palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada**. 2017. 79 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2017.

SIMÕES, D. A.; SANTOS, D. C.; DIAS, F. M. Introdução de *Opuntia ficus-indica* no Brasil. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. (Ed.). **A Palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. 13-26p.

SOUZA, A. C. de. Novos experimentos com “palmas forrageiras” (*Opuntia ficus-indica*, Mill e *Nopalea cochenillifera*, (L.) Salm Dyck) em Pernambuco, Brasil. In: Congresso Internacional de Pastagens, 9, São Paulo, **Anais...** São Paulo: Secretaria da Agricultura do Estado de Pernambuco, 1965. v. 2, p. 1465-1469.

SUDZUKI-HILLS, F. Anatomia e fisiologia. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E. P. (Ed.). **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. João Pessoa: SEBRAE, 2001. 28-34p.

SUN, S. K.; LI, C.; WU, P. T.; ZHAO, X. N.; WANG, Y. B. Evaluation of agricultural water demand under future climate change scenarios in the Loess Plateau of Northern Shaanxi, China. **Ecological Indicators**, v. 84, n. 1, p. 811-819, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TAN, W.; ZHANG, Y.; XI, B.; HE, X.; GAO, R.; HUANG, C.; ZHANG, H.; LI, D.; ZHAO, X.; LI, M.; LI, L.; JIANG, J.; WANG, G. Discrepant responses of the electron

transfer capacity of soil humic substances to irrigations with wastewaters from different sources. **Science of the Total Environment**, v. 610, n. 1, p. 333-341, 2018.

TUPICH, F. L. B. **Metanálise do ganho de produtividade da soja com aplicações de fluazinam para o controle do mofo branco**. 2015. 42 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, 2015.

TUPICH, F. L. B.; FANTIN, L. H.; SILVA, A. L.; CANTERI, M. G. Impacto do controle do mofo-branco com fluazinam na produtividade da soja no Sul do Paraná: metanálise. **Summa Phytopathologica**, v. 43, n. 2, p. 145-150, 2017.

VASCONCELOS, A. G. V. de; LIRA, M. de A.; CAVALCANTI, V. L. B.; SANTOS, M. V. F. dos; WILLADINO, L. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha do carmim (*Dactylopius* sp.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 5, p. 827-831, 2009.

VOLPE, M.; GOLDFARB, J. L.; FIORI, L. Hydrothermal carbonization of *Opuntia ficus-indica* cladodes: Role of process parameters on hydrochar properties. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 310-318, 2018.

YIDANA, S. M.; BAWOYOBIE, P.; SAKYI, P.; FYNN, O. F. Evolutionary analysis of groundwater flow: Application of multivariate statistical analysis to hydrochemical data in the Densu Basin, Ghana. **Journal of African Earth Sciences**, v. 138, p. 167-176, 2018.

5. CAPÍTULO 1

5.1. Estimativa do Ganho de Produtividade de Palma Forrageira Irrigada e Adubada: Revisão Sistemática e Meta-Análise

Resumo: A expansão populacional impulsiona o aumento de consumo de água para produção de alimentos, o que tem incentivado o cultivo de vegetais com maior eficiência do uso de água. Objetivou-se estimar o ganho de produtividade de palma forrageira irrigada e adubada em relação aos cultivos não irrigados, utilizando-se de meta-análise. Realizou-se revisão sistemática, obtendo-se médias de produtividade e medidas de tendência e dispersão dos estudos. Os dados foram submetidos a testes de normalidade, agrupamento hierárquico e meta-análise. Constatou-se que os cultivos de palma forrageira irrigados promovem incremento de produtividade de 53,54 t ha⁻¹ ano⁻¹ quando comparados aos cultivos de sequeiro, podendo chegar a produtividades de 80,25 t ha⁻¹ ano⁻¹ com elevadas lâminas de irrigação e 26,83 t ha⁻¹ ano⁻¹ com menores lâminas em ambientes com maior ocorrência de chuvas, havendo probabilidade de obtenção de produtividades ainda mais elevadas, sobretudo em regiões semiáridas.

Palavras-chave: Cactaceae. *Opuntia*. *Nopalea*. Sequeiro. Demanda hídrica. Irrigação.

Estimation of Productivity Gain of Irrigated and Fertilized Forage Cactus: Systematic Review and Meta-Analysis

Abstract: Population expansion drives increased water consumption for irrigation, which has encouraged the cultivation of vegetables with greater efficiency of water use. The objective of this study was to estimate the yield gain of irrigated and fertilized forage palm in relation to non-irrigated crops, using meta-analysis. A systematic review was carried out, yielding means of productivity and measures of tendency and dispersion of the studies. The data were submitted to tests of normality, hierarchical grouping and meta-analysis. It was verified that irrigated forage cactus crops promoted a productivity increase of 53.54 t ha⁻¹ year⁻¹ when compared to the rainfed crops, being able to reach yields of 80.25 t ha⁻¹ year⁻¹ with high irrigation depths in restrictive environments and 26.83 t ha⁻¹ year⁻¹ with smaller depths in environments with higher rainfall occurrence, with the possibility of obtaining even higher yields, especially in semi-arid.

Keywords: Cactaceae. *Opuntia*. *Nopalea*. Rainfed. Water demand. Irrigation.

5.1.1. Introdução

O crescimento populacional em consonância com melhoria do padrão de vida em regiões áridas e semiáridas implicam em maior demanda por alimentos para suprimento destas populações, o que tem impulsionado a expansão de terras agrícolas. Estima-se que, atualmente, 15% da população da Terra (841 milhões de pessoas) vivem em regiões áridas e semiáridas, das quais cerca de 524 milhões vivem em regiões semiáridas (QADER *et al.*, 2018).

Dentre as ações antrópicas para garantia da segurança alimentar, a captação de água para irrigação merece atenção. Desde o início desta década, a captação mundial de água subterrânea para suprimento da demanda hídrica nos campos irrigados é estimada em aproximadamente 1000 km³ por ano, de modo que a água subterrânea representa 43% do recurso hídrico utilizado na agricultura (TWEED *et al.*, 2018). Ressalte-se que a intensificação da irrigação no semiárido, desde que com manejo inadequado, pode ocasionar salinização dos solos e consequente redução da produtividade das culturas (HANNACHI & LABEKE, 2018).

O cenário supracitado denota a necessidade de desenvolvimento de estratégias para utilização eficiente dos recursos hídricos no semiárido, evidenciando plantas de metabolismo fotossintético CAM como alternativa para a região. A palma forrageira, gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, é um exemplo deste metabolismo, caracterizada por sua expressiva tolerância ao déficit hídrico e eficiência do uso da água, é cultivada mundialmente, sobretudo para produção de forragem, biocombustíveis, fármacos, alimentação humana e tratamento de água (BAYAR *et al.*, 2018; VOLPE *et al.*, 2018).

A palma forrageira se destaca devido às suas características físico-químicas, tanto para a alimentação dos rebanhos quanto na dieta humana, notadamente por constituir-se em importante fonte de minerais, gorduras, carboidratos, fibras, energia e ácidos graxos, com elevada capacidade antioxidante, apesar de ter baixo conteúdo proteico (SANTIAGO *et al.*, 2018). Por estes motivos, a comunidade científica tem investigado essa cultura. Contudo, os resultados de pesquisas acerca da produção de palma irrigada são variáveis no tempo e no espaço, havendo necessidade de sumarização destes resultados por meio de meta-análise.

Utilizando-se a técnica de meta-análise, é possível sintetizar as pesquisas primárias sobre irrigação na palma forrageira em comparação aos cultivos não irrigados.

A técnica consiste na revisão sistemática da literatura e sumarização das pesquisas primárias, de modo a obter a estimativa meta-analítica da média de cada variável em estudo. Contudo, a dificuldade de obtenção de dados adequados para a realização de meta-análise tem limitado seu uso, notadamente devido ao fato das estimativas combinadas dependerem da disponibilidade de dados que nem sempre estão apresentados de forma adequada nas pesquisas incluídas no banco de dados (MANCA *et al.*, 2018).

Com base no exposto, objetivou-se estimar o ganho de produtividade de palma forrageira irrigada e adubada em relação aos cultivos não irrigados, utilizando-se de revisão sistemática e meta-análise.

5.1.2. Material e Métodos

5.1.2.1. Busca de referências e revisão sistemática

A pesquisa é classificada como quantitativa, devido ao levantamento e processamento de dados empíricos obtidos de pesquisas primárias (GERHARDT & SILVEIRA, 2009). Em relação à natureza, a pesquisa é do tipo aplicada, uma vez que visa gerar conhecimento para aplicação prática em relação ao ganho de produtividade da palma forrageira irrigada. Em relação aos objetivos, a pesquisa é classificada como explicativa (GIL, 2010). Quanto aos procedimentos, a pesquisa é do tipo bibliográfica, complementada por revisão sistemática e meta-análise (LITTELL *et al.*, 2008).

Para este estudo, utilizou-se da metodologia descrita por Tupich *et al.* (2017). A busca sistemática foi realizada entre os dias 23 e 27 de outubro de 2017, sem restrições de data e local e utilização de filtros. A pesquisa foi realizada nas bases de dados: BD₁= *Scholar Google*, BD₂= *Scopus*, BD₃= *Science Direct*, BD₄= *Springer Link*, BD₅= *Wiley Online Library* e BD₆= Banco de Teses e Dissertações da CAPES. Foram utilizadas as seguintes *strings* de busca: SB₁= “*Opuntia*” AND “lâminas de irrigação”, SB₂= “*Opuntia*” AND “irrigation depths”, SB₃= “*Opuntia*” AND “níveis de irrigação”, SB₄= “*Opuntia*” AND “irrigation levels”, SB₅= “*Nopalea*” AND “lâminas de irrigação”, SB₆= “*Nopalea*” AND “irrigation depths”, SB₇= “*Nopalea*” AND “níveis de irrigação”, SB₈= “*Nopalea*” AND “irrigation levels”.

Os critérios para inclusão de estudos frequência, regime hídrico, lâmina ótima e evapotranspiração foram: I) Experimentos com aplicação de lâminas de irrigação na

palma forrageira e resposta em produção ou produtividade; II) Experimentos que apresentavam os níveis de irrigação aplicados; e III) Experimentos que apresentavam medidas de variabilidade e dispersão de dados, além do número de repetições. O fluxo de seleção de referências foi realizado conforme descrito por Lima *et al.* (2017), utilizando-se o *software* Mendeley. Os dados obtidos dos experimentos selecionados foram submetidos à análise de normalidade pelos testes de Shapiro-Wilk (SHAPIRO & WILK, 1965) e Kolmogorov-Smirnov (KOLMOGOROV, 1933; SMIRNOV, 1948).

5.1.2.2. Medidas de tendência e dispersão

A medida de efeito dos estudos (D), foi obtida a partir da diferença entre a produtividade obtida de cultivos irrigados (PI) de palma forrageira e a produtividade obtida de cultivos de sequeiro (PS) de palma forrageira, conforme modelo descrito por Tupich *et al.* (2017): $D = (PI - PS)$.

A variabilidade dos dados inseridos na meta-análise foi estimada pelo erro padrão, conforme descrito por Tupich *et al.* (2017). Para tanto, foi calculado o desvio padrão (σ), a partir do coeficiente de variação (CV) apresentado em cada estudo, utilizando-se como base, as médias de produtividade dos cultivos irrigados (PI) e as médias de produtividade dos cultivos de sequeiro (PS), utilizando o modelo: $\sigma = ((PI + PS)/2 * CV)/100$. Para cada entrada de dado, obteve-se o número de repetições do experimento (n) para fim de estimar seu respectivo erro padrão (S), utilizando-se do modelo: $S = \sigma/\sqrt{n}$.

5.1.2.3. Formação e análise de subgrupos

Os dados obtidos de todos os estudos foram submetidos à análise exploratória multivariada de agrupamento (Cluster Analysis) por método hierárquico (Ward's minimum variance), visando a formação de subgrupos, de modo que as observações de interesse dentro de cada subgrupo sejam homogêneas e os subgrupos diferentes um do outro (MISHRA & DATTA-GUPTA, 2018). A análise foi processada utilizando-se do *software* Statistica v. 7.0 (STATSOFT, 2004).

5.1.2.4. Meta-análise

Para os dados completos obtidos dos estudos e para os dados de subgrupos formados, a estimativa da variabilidade entre os estudos (τ^2) foi feita pelo método

descrito por DerSimonian e Laird (1986) e o cálculo da ponderação de cada estudo foi feito utilizando-se o método do inverso da variância. Devido à elevada heterogeneidade, foi utilizado o modelo de efeitos aleatórios (SANTOS & CUNHA, 2013). A meta-análise foi conduzida no *software* R, utilizando-se do pacote para procedimento meta-analítico “metafor” (VIECHTBAUER, 2010; R CORE TEAM, 2017).

Para utilização do modelo de efeitos aleatórios, constatou-se a partir do teste de normalidade que o conjunto de estudos tem distribuição normal com o efeito médio (μ) e variância do efeito (τ^2) representado pela notação $\theta_i \sim N(\mu, \tau^2)$, conforme descrito por Tupich *et al.* (2017). Assim, o modelo utilizou como fontes causadoras de efeito a variação dentro do estudo (within-study) e entre os experimentos (between-study), conforme descrição a saber:

$$Y_j = \mu + \xi_j + \varepsilon_j \quad (1)$$

Em que Y_j representa o efeito observado no estudo j , μ é o efeito comum a todos os estudos, ou a medida sumarizada ou medida meta-analítica, ε_j corresponde ao erro aleatório do estudo j e ξ_j é a variação nos efeitos verdadeiros. Para obter a estimativa global e minimizar a variância, calculou-se a média ponderada, em que o peso atribuído a cada entrada foi dado pelo inverso de sua variância, a partir da variância dentro do estudo e entre estudos.

A heterogeneidade da estimativa global, foi obtida a partir dos índices H^2 e I^2 propostos por Higgins & Thompson (2002). A respeito destes índices, Tupich *et al.* (2017) reportam que, o I^2 fornece a porcentagem total de variância que é devida à heterogeneidade entre estudos, enquanto que o H^2 faz uma relação entre o tamanho do intervalo de confiança e a estimativa da medida de efeito. Estes pesquisadores destacam que H^2 maior que dois indica que a variação entre estudos possui influência substancial no efeito global.

5.1.2.5. Probabilidade de incremento de produtividade

A probabilidade de incremento em produtividade foi determinada seguindo as metodologias descritas por Paul *et al.* (2008) e Madden & Paul (2011), utilizando-se do modelo que segue:

$$p_{\vartheta} = (Z_{\text{new}} > \vartheta) = 1 - \Phi\left(\frac{\vartheta - \zeta}{\sigma}\right) \quad (2)$$

Em que, ζ_{new} indica o efeito do tratamento a ser estimado, ϑ é a resposta da produtividade a ser estimada, σ é a raiz quadrada da variância entre os estudos, ζ é a estimativa meta-analítica e ϕ é função da distribuição normal. Foram estipuladas probabilidades de retorno positivo da produtividade para os níveis 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 e 220 t ha⁻¹ ano⁻¹ de acréscimo, para cultivos de palma irrigados. Os resultados foram multiplicados por 100 e expressos em porcentagem (TUPICH *et al.*, 2017).

5.1.3. Resultados e Discussão

5.1.3.1. Referências selecionadas para meta-análise

A partir da inserção das *strings* de busca em cada base de dados (BD), foram encontradas 2.583 referências, com 1.204 referências no *Scholar Google* (BD₁), 9 no *Scopus* (BD₂), 8 na *Science Direct* (BD₃), 772 na *Springer Link* (BD₄), 450 na *Wiley Online Library* (BD₅) e 140 no Banco de Teses e Dissertações da CAPES (BD₆). O total de referências foi submetido a análise inicial para verificação da pertinência ao objetivo do estudo, sendo 2.558 referências excluídas, restando 25 referências as quais passaram por revisão sistemática sendo excluídas vinte referências por não atenderem aos critérios de inclusão, restando cinco referências de onde foram extraídos dados de entrada para realização da estimativa da medida meta-analítica (Figura 1).

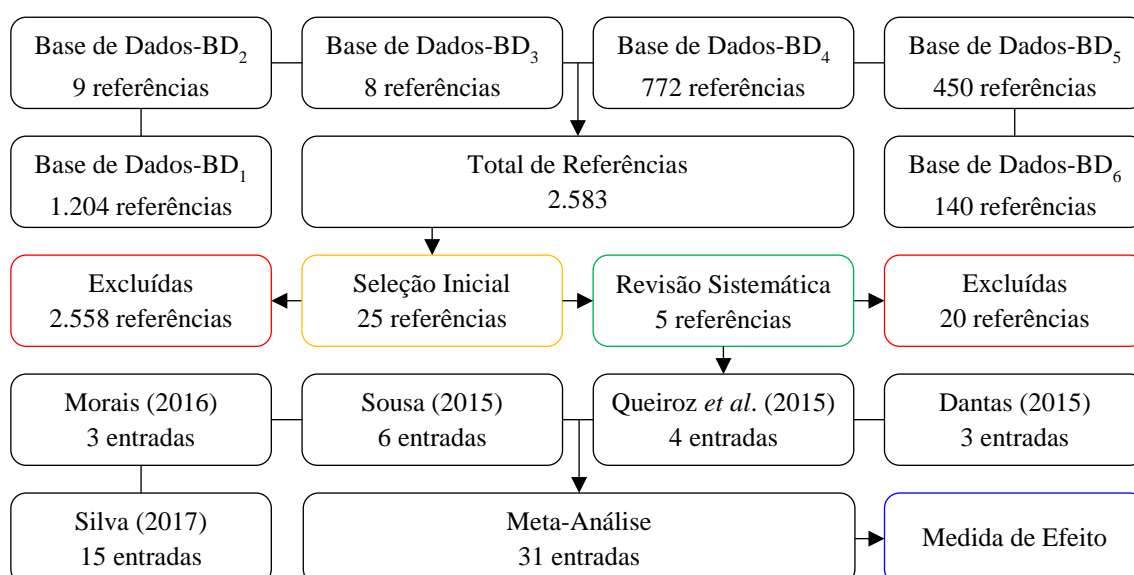


Figura 1. Diagrama de fluxo do processo de seleção de referências para revisão sistemática e obtenção de dados para meta-análise. Campina Grande, PB, 2017.

Os resultados indicam que a base de dados *Scholar Google* (BD₁) possui elevado número de referências relacionadas às *strings* de busca, tanto em inglês como em português, possivelmente por recuperar referências contidas nos outros bancos de dados (FERRAZ *et al.*, 2017). Estes pesquisadores reportam que, para maior eficiência de busca nas bases de dados utilizadas nesta pesquisa, recomenda-se a utilização das *strings* de busca em inglês.

Nas bases de dados historicamente consolidadas, como BD₂= *Scopus*, BD₃= *Science Direct*, BD₄= *Springer Link*, BD₅= *Wiley Online Library*, o processo para indexação é rigoroso (MUGNAINI & STREHL, 2008), justificando menor número de referências encontradas nestas bases em relação ao *Scholar Google*. Isto ocorre devido ao fato do *Scholar Google* incluir diversos tipos de materiais acadêmicos (NORUZI, 2005). Ressalte-se que a cobertura do *Scholar Google* não abrange todo o conteúdo pertinente, ratificando a busca em bases consagradas (GIUSTINI & BARSKY, 2005).

Os critérios de inclusão de referências na meta-análise são primordiais para garantia da qualidade conclusiva do estudo, de modo que estes critérios devem ser descritos detalhadamente (MCDONAGH *et al.*, 2013). No entanto, critérios bem elaborados reduzem o número de entradas de dados para a estimativa meta-analítica (MELINE, 2006; COGO *et al.*, 2017). Nesta pesquisa, do total de 2.583 referências, apenas cinco atenderam aos critérios, garantindo a qualidade da meta-análise quanto à pertinência dos estudos para comprovação da hipótese testada.

5.1.3.2. Subgrupos e normalidade dos dados

Verificou-se a formação de cinco subgrupos (S) formados a partir das entradas de dados de produtividade de palma forrageira irrigada e cultivada em sequeiro. O primeiro subgrupo (S-I) foi formado pelas entradas 28, 29, 30 e 31, obtidas da referência de Silva (2017), trabalhando com níveis crescentes de reposição da ETo (50, 75, 100 e 125%) e solo adubado com 600 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N); o segundo (S-II) foi formado pelas entradas 17, 18, 19, 20 e 21 obtidas de Silva (2017) utilizando irrigação (25, 50, 75, 100 e 125% da ETo) e adubação com 150 kg ha⁻¹ de N; o terceiro (S-III) formado pelas entradas 8, 9, 10, 11, 12, 13, 22, 23, 24, 25 e 26, obtidas de Sousa (2015), sendo as entradas 8, 9 e 10 advindas de lâminas de irrigação (5, 10 e 15 mm) e solo adubado com cama de frango e as entradas 11, 12 e 13 obtidas de irrigação (5, 10 e 15

mm) e adubação com esterco ovino, enquanto que as entradas 22, 23, 24, 25 e 26 foram obtidas de Silva (2017) utilizando irrigação (25, 50, 75, 100 e 125%) e adubação com 450 kg ha⁻¹ de N; o quarto (S-IV) formado por 5, 6, 14, 15 e 16, onde 5 e 6 foram obtidas de Dantas (2015) com lâminas de irrigação de 7,5 e 15 mm, enquanto 14, 15 e 16 advindas de Moraes (2016); e o quinto (S-V) formado pelas entradas 1, 2, 3, 4, 7 e 27, onde 1, 2, 3 e 4 foram obtidas na referência de Queiroz et al. (2015) com as lâminas de 8,75, 17,50, 26,35 e 35 mm, a entrada 7 obtida de Dantas (2015) sob irrigação com 30 mm e a 27 obtida de Silva (2017) sob irrigação com 25% da ETo e adubação com 600 kg ha⁻¹ de N (Figura 2).

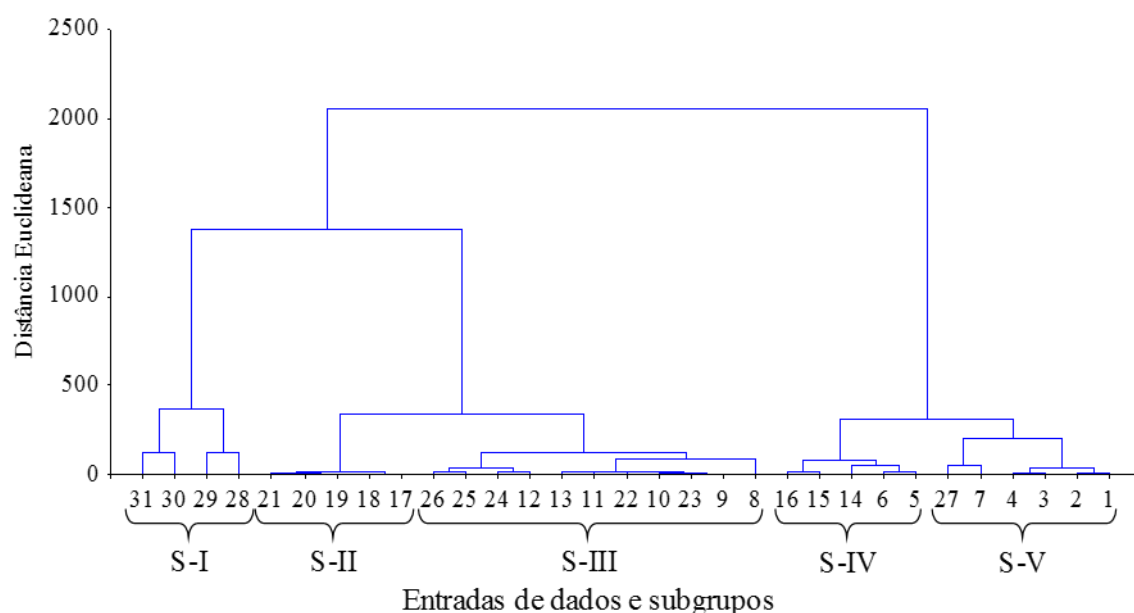


Figura 2. Dendrograma da análise de agrupamento (Cluster Analysis) das entradas de dados e formação de subgrupos com homogeneidade dentro e heterogeneidade entre subgrupos. Campina Grande, PB, 2017.

Dados obtidos de diferentes experimentos sofrem variações devido às características edafoclimáticas particulares de cada cultivo, bem como os sistemas de manejo associados à irrigação. Para moderar este efeito de diferença entre estudos, Tupich *et al.* (2017) criaram subgrupos com base nos níveis de incidência e de severidade de mofo-branco em soja. Nesta pesquisa, optou-se pela utilização de análise de agrupamento (MISHRA & DATTA-GUPTA, 2018), principalmente pelo fato de se conhecer as fontes de variação de cada experimento utilizado na meta-análise,

permitindo agrupar os dados similares dentro de cada grupo distinto (DASH & MISHRA, 2018).

Com base no teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S), para análise da normalidade dos dados, obteve-se estatística D de 0,23 ($P>0,05$) para todas as entradas de dados (T-E) de palma irrigada e D de 0,21 ($P>0,05$) para dados de palma sob cultivo de sequeiro. Há, portanto, forte evidência de que os dados das duas populações de palma forrageira seguem distribuição normal, atendendo às suposições para uso de estimativa meta-analítica. No entanto, estes dados não seguem distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk (S-W), justificando a criação de subgrupos moderadores de efeito. Os dados de todos os subgrupos seguem distribuição normal pelo teste de K-S, enquanto os dados de palma sob cultivo de sequeiro não sejam normalmente distribuídos pelo teste de S-W no terceiro (S-III) e no quinto (S-V) subgrupos (Tabela 1).

Tabela 1. Testes de normalidade de Shapiro-Wilk (S-W) e Kolmogorov-Smirnov (K-S) para dados de produtividade de palma irrigada e de sequeiro. Campina Grande, PB, 2018.

Subgrupos	Palma irrigada				Palma de sequeiro			
	S-W		K-S		S-W		K-S	
	W	P	D	P	W	P	D	P
T-E	0,84	3E-4	0,23	0,07	0,89	5E-3	0,21	0,11
S-I	0,99	0,97	0,15	0,99	1,00	1,00	0,50	0,19
S-II	0,98	0,96	0,14	0,99	1,00	1,00	0,50	0,11
S-III	0,95	0,63	0,16	0,89	0,72	9E-4	0,30	0,23
S-IV	0,94	0,83	0,19	0,98	0,81	0,10	0,35	0,48
S-V	0,90	0,40	0,26	0,75	0,69	4E-3	0,38	0,27

W: Estatística do teste de Shapiro-Wilk, D: estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov, P: probabilidade de significância dos testes, T-E: todas as entradas, S-I: primeiro subgrupo, S-II: segundo subgrupo, S-III: terceiro subgrupo, S-IV: quarto subgrupo e S-V: quinto subgrupo.

Em meta-análise, a normalidade dos dados é primordial para garantia da qualidade da estimativa do efeito, de modo que dados não distribuídos normalmente podem ser analisados por modelos meta-analíticos de efeitos aleatórios (SUN *et al.*, 2018). Embora os dados desta pesquisa sejam normalmente distribuídos pelo teste de K-S, Torman *et al.* (2012) reportam que o desempenho deste teste em comparação a outros também consagrados é baixo e recomenda o uso do teste de S-W. Seguindo esta recomendação, verificou-se que os dados de palma de sequeiro não possuem distribuição normal, o que se deve à elevada heterogeneidade no conjunto de todas as

entradas (T-E) e ao baixo número de estudos combinados (K) nos subgrupos (TORMAN *et al.*, 2012; BUJKIEWICZ *et al.*, 2015; SNELL *et al.*, 2017).

É importante ressaltar que nos casos em que as fontes de variação diferentes daquela em estudo influenciam a distribuição dos dados e são conhecidas pelo pesquisador, admite-se a suposição de normalidade. De fato, Lee e Thomson (2008) ao explorarem modelos paramétricos flexíveis para meta-análise de efeitos aleatórios, quando as suposições de normalidade entre os estudos não se mantêm, ressaltam que é importante permitir a distorção, especialmente quando a distribuição preditiva é de interesse.

5.1.3.3. Estimativa meta-analítica

A partir da revisão sistemática das referências, verificou-se que os experimentos com palma irrigada foram conduzidos em locais diferentes e adotavam sistemas de manejo diferentes, sugerindo heterogeneidade dos dados e, portando, denotando a necessidade de uso do modelo de efeitos aleatórios. De fato, foi constatada elevada heterogeneidade ($P < 0,001$), dada pela estatística τ^2 (3258,49) que mede a variação entre estudos e ratificada pelo elevado I^2 (78,10) e pelo H^2 correspondente a 2,14 (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo dos testes de heterogeneidade e dos efeitos gerais das meta-análises de todas as entradas de dados dos experimentos e dos dados de subgrupos. Campina Grande, PB, 2018.

Subgrupos	Heterogeneidade				Efeito Geral			
	τ^2	I^2 (%)	H^2	P	K	MD	Z	P
T-E	3258,49	78,10	2,14	0,0001	31	53,54	3,93	0,0001
S-I	18157,66	73,70	1,95	0,0098	4	416,85	5,26	0,0001
S-II	0,00	0,00	1,00	0,9900	5	-12,49	0,39	0,6993
S-III	0,00	0,00	1,00	0,9900	11	36,25	1,97	0,0486
S-IV	363,38	65,20	1,70	0,0215	5	13,38	1,24	0,2143
S-V	3717,07	78,30	2,15	0,0003	6	36,89	1,31	0,1917

τ^2 : estimativa da variabilidade entre os estudos, I^2 : variância percentual da heterogeneidade entre estudos, H^2 : relação entre o tamanho do intervalo de confiança e a estimativa da medida de efeito, P : probabilidade de significância dos testes, K: número de estudos combinados, MD: média das diferenças, Z: teste de hipótese, T-E: todas as entradas, S-I: primeiro subgrupo, S-II: segundo subgrupo, S-III: terceiro subgrupo, S-IV: quarto subgrupo e S-V: quinto subgrupo.

A estimativa meta-analítica de todas as entradas de dados (T-E), representada pela média das diferenças (MD) no intervalo de confiança de 95%, evidenciou aumento

significativo ($P < 0,001$) de produtividade de palma irrigada em relação ao cultivo de sequeiro. O ganho de produtividade meta-analítico foi de $53,54 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com limite de ganho superior de $80,25 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no melhor cenário e limite inferior de $26,83 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Tabela 2).

A origem da heterogeneidade de uma meta-análise pode ser clínica, metodológica ou estatística. A heterogeneidade clínica é inerente à meta-análise e é devida à variabilidade existente entre os participantes. Já a heterogeneidade metodológica faz referência à variabilidade entre os delineamentos dos estudos, características das amostras, variações no tratamento, variações na qualidade do projeto, entre outras; enquanto que a heterogeneidade estatística é devida à variabilidade nas medidas de efeito entre os diferentes estudos e decorre das variabilidades clínica, metodológica ou de ambas (HIGGINS & GREEN, 2008; MACASKILL *et al.*, 2010; BOWDEN *et al.*, 2011).

Com base nas informações supracitadas, pode-se inferir que as heterogeneidades nas meta-análises com todas as entradas de dados (T-E) e dos subgrupos são devidas à variabilidade natural ao acaso entre as plantas de palma forrageira nos experimentos originais; à variabilidade entre as condições de cultivo divergentes entre os experimentos; além da interação entre ambas as variabilidades e à variabilidade elevada entre as medidas de diferença entre palma irrigada e de sequeiro obtidas de cada entrada de dado inserida na meta-análise.

A partir da análise individual dos dados de cada subgrupo, verificou-se que no primeiro subgrupo (S-I) a estimativa meta-analítica de ganho de produtividade (MD) foi de $416,85 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com limite (L) inferior de $261,47 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e superior de $572,22 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Todas as entradas de dados (E_{28} , E_{29} , E_{30} e E_{31}) deste subgrupo evidenciaram aumento ($D \pm L > 0 \text{ t ha}^{-1}$) significativo ($p < 0,01$) de produtividade (Figura 3).

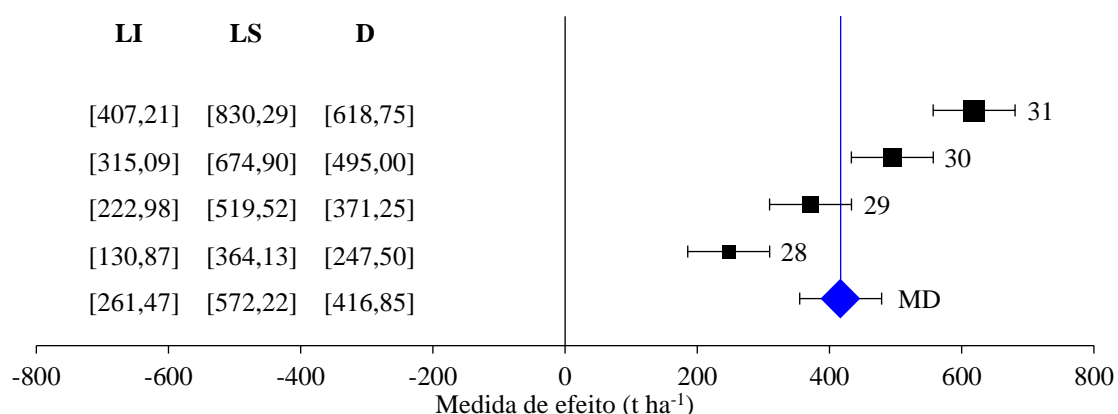


Figura 3. *Forest plot* da distribuição de diferenças de produtividade de palma forrageira irrigada comparada à cultivada em condições de sequeiro no primeiro subgrupo. LI: limite inferior, LS: limite superior, D: diferença de produtividade, MD: média das diferenças, (■): tamanho do efeito e (◆): estimativa meta-analítica. Campina Grande, PB, 2017.

A elevada estimativa de aumento de produtividade observada no primeiro subgrupo é devida à irrigação com aumento gradativo dos níveis de reposição da ETo utilizados por Silva (2017) na palma forrageira variedade ‘Orelha de Elefante Mexicana’, associada ao manejo da adubação nitrogenada com $600\ kg\ ha^{-1}$ de N. A pesquisadora reporta que o incremento de produtividade em resposta ao aumento da reposição hídrica está atrelado ao efeito sinérgico entre a disponibilidade de água e elevado teor de nitrogênio no solo aplicado em sistema de irrigação.

No segundo subgrupo (S-II), não foi constatada evidência ($P > 0,05$) de que a irrigação promova aumento ou redução de produtividade ($D \pm L = 0\ t\ ha^{-1}$), com média meta-analítica de $-12,49\ t\ ha^{-1}$, indicando que neste agrupamento de dados a produtividade de palma pode ser reduzida em $75,90\ t\ ha^{-1}$ no pior cenário, enquanto que no melhor cenário pode ocorrer aumento de $50,91\ t\ ha^{-1}$ (Figura 4).

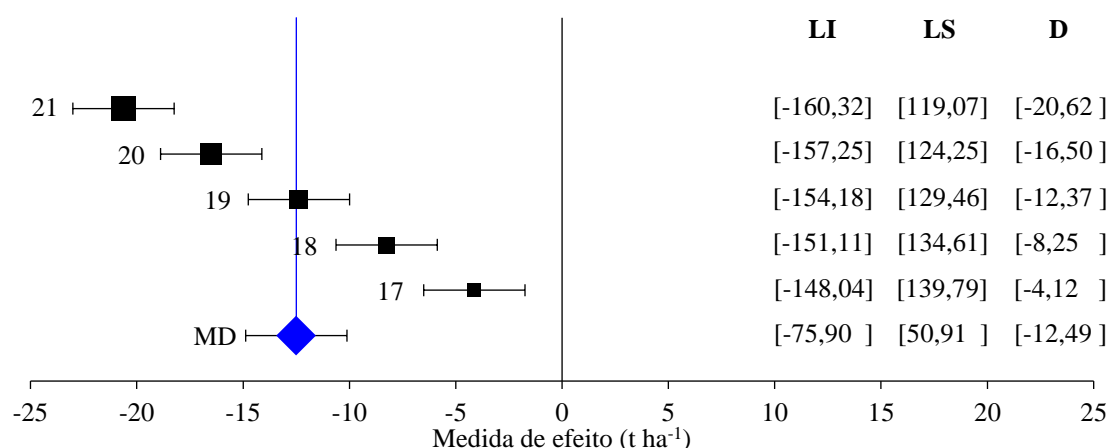


Figura 4. *Forest plot* da distribuição de diferenças de produtividade de palma forrageira irrigada comparada à cultivada em condições de sequeiro no segundo subgrupo. LI: limite inferior, LS: limite superior, D: diferença de produtividade, MD: média das diferenças, (■): tamanho do efeito e (◆): estimativa meta-analítica. Campina Grande, PB, 2017.

A formação do segundo subgrupo ocorreu devido à variação na quantidade de nitrogênio aplicado ao solo por Silva (2017) em palma cultivada sob irrigação. Neste subgrupo, as entradas são oriundas de plantas adubadas com 150 kg ha^{-1} de N. Quando este fornecimento de N foi adotado, a pesquisadora constatou redução linear expressiva na produtividade de palma em função dos diferentes níveis de reposição: 25, 50, 75, 100 e 125% da ETo. A autora reporta que a redução de produtividade com este manejo de adubação é devida à ausência de chuvas e possível efeito dos sais contidos na água de irrigação.

Nas regiões áridas e semiáridas, as baixas taxas de precipitação levam a problemas de salinidade do solo, o que pode limitar o estabelecimento, crescimento e sobrevivência da palma forrageira. As reduções observadas nesta pesquisa são explicadas pela escassez de chuvas e irrigação com água salina, sobretudo devidas à redução no teor de clorofila, eficiência quântica e rendimento fotoquímico do PSII, além de adensamento dos cloroplastos no centro das células e danos físicos ocorridos nas membranas celulares, causados pelo efeito dos sais (ARIAS-MORENO *et al.*, 2017).

No terceiro subgrupo (S-III), houve ganho médio de produtividade de $36,25 \text{ t ha}^{-1}$, variando no intervalo de confiança de 95%, com limite inferior de $0,23 \text{ t ha}^{-1}$ e superior de $72,27 \text{ t ha}^{-1}$. Individualmente, todas as entradas de dados denotam igualdade

de produtividade entre palma irrigada e de sequeiro, embora as médias de cada entrada indiquem aumento (Figura 5).

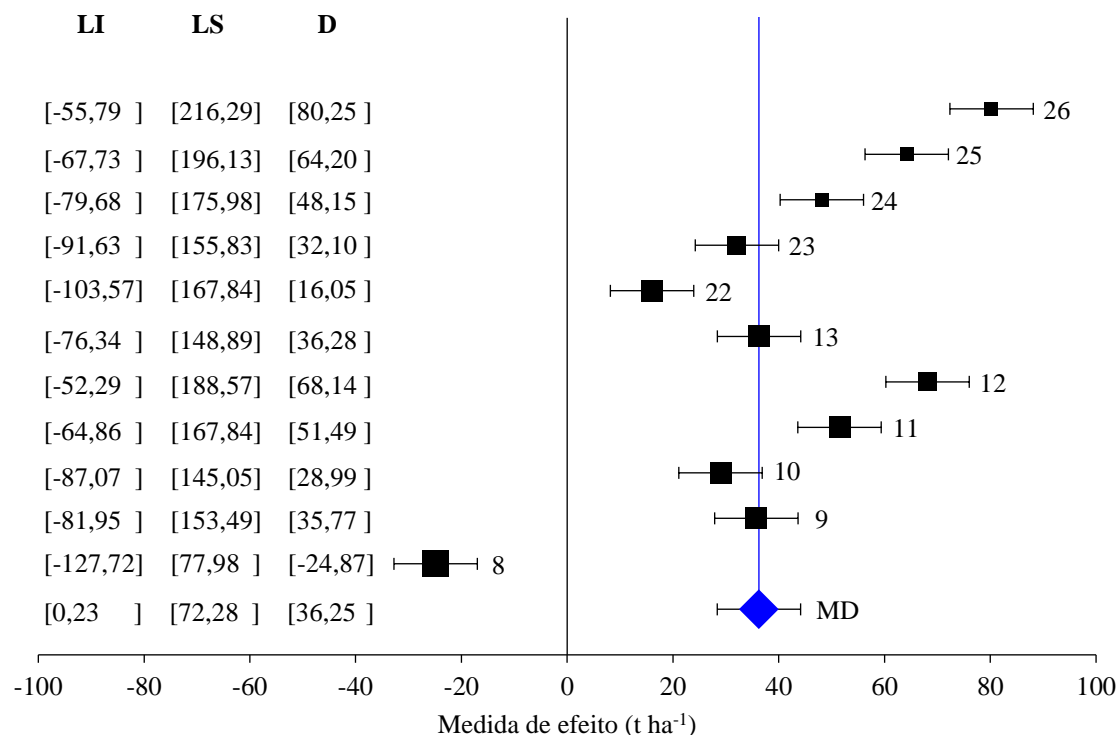


Figura 5. *Forest plot* da distribuição de diferenças de produtividade de palma forrageira irrigada comparada à cultivada em condições de sequeiro no terceiro subgrupo. LI: limite inferior, LS: limite superior, D: diferença de produtividade, MD: média das diferenças, (■): tamanho do efeito e (◆): estimativa meta-analítica. Campina Grande, PB, 2017.

O ganho de produtividade observado no terceiro subgrupo reflete o efeito de lâminas de irrigação associadas ao manejo da adubação com cama de frango, esterco ovino e nitrogênio. Contudo, para as entradas 8, 9, 10, 11, 12 e 13, Sousa (2015) não verificou interação significativa entre irrigação e adubação, o que pode ser devido à expressiva variabilidade de dados ao acaso e baixa capacidade preditiva dos modelos de ajuste de médias em função da irrigação com $R^2 = 0,06$ para efeito de lâminas sob adubação com cama de frango e $R^2 = 0,02$ quando a palma foi adubada com esterco ovino.

O incremento de produtividade observado com as entradas de dados 22, 23, 24, 25 e 26, ratifica a estimativa meta-analítica de ganho produtivo em respostas à irrigação,

notadamente pelo fato de Silva (2017) ter confirmado a hipótese de que a irrigação aumenta a produtividade de palma forrageira sob adubação com 450 kg ha^{-1} de N. A autora relata que a disponibilidade hídrica aumentou a turgescência celular, informação corroborada com Barros *et al.* (2016) ao mencionarem que os processos fisiológicos são alterados havendo ganho de produtividade. De fato, a condição de seca característica do semiárido favorece o acúmulo de osmólitos compatíveis para tolerância ao déficit hídrico, de modo que, sob irrigação, esta maior concentração de solutos promove incremento na entrada de água e pressão de turgor celular (TAIZ *et al.*, 2017).

No quarto subgrupo (S-IV), não houve ganho ou perda de produtividade ($\text{MD} \pm \text{L} = 0 \text{ t ha}^{-1}$) comparando-se a produtividade de palma irrigada e de sequeiro, embora se tenha obtido média meta-analítica de $13,38 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, havendo possibilidade de redução de $7,73 \text{ t ha}^{-1}$ no cultivo de sequeiro e aumento de $34,49 \text{ t ha}^{-1}$ com o cultivo irrigado (Figura 6).

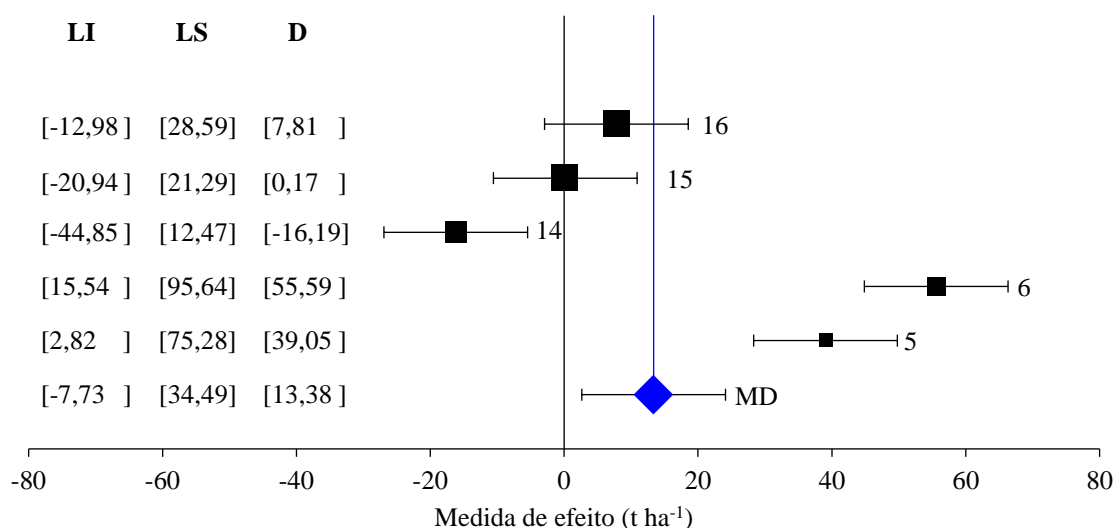


Figura 6. *Forest plot* da distribuição de diferenças de produtividade de palma forrageira irrigada comparada à cultivada em condições de sequeiro no quarto subgrupo. LI: limite inferior, LS: limite superior, D: diferença de produtividade, MD: média das diferenças, (■): tamanho do efeito e (◆): estimativa meta-analítica. Campina Grande, PB, 2017.

Não houve diferença entre palma irrigada e de sequeiro, embora na pesquisa original de Dantas (2015), de onde foram extraídas as entradas 5 e 6, a autora tenha verificado aumento de produtividade significativo em resposta à irrigação, e explicou que as causas dos baixos rendimentos da palma forrageira em regiões climaticamente

desfavoráveis podem ser atribuídas a vários fatores como, baixa captação de CO₂, alta transpiração noturna, morte de raízes no período seco e murcha severa dos cladódios, embora as poucas precipitações ocorridas durante o experimento tenham garantido a sobrevivência e produtividade das plantas de sequeiro.

A ausência de diferença significativa entre a produtividade de palma irrigada e de sequeiro neste subgrupo se deve ao fato de que na pesquisa original de Moraes (2016) não foi constatado efeito significativo de lâminas de irrigação. O autor destaca as condições meteorológicas ocorridas durante o experimento como possível atenuante do déficit hídrico, embora enfatize que, de acordo com Lira *et al.* (2006), no Sertão pernambucano as noites quentes e baixos valores de umidade relativa do ar resultam em cladódios murchos, podendo inviabilizar a utilização da palma como reserva forrageira para o período seco (LIMA *et al.*, 2010). Além disso, Dantas *et al.* (2015) observaram que a irrigação com 30 mm por mês promoveu perdas no stand de plantas, ocasionadas pela podridão mole, possivelmente pelo excesso de água não tolerado pela cultura.

No quinto subgrupo (S-V), obteve-se medida meta-analítica de 36,69 t ha⁻¹, com limite inferior de -18,49 t ha⁻¹ e superior de 92,29 t ha⁻¹, não sendo verificada diferença ($P > 0,05$) entre palma irrigada e de sequeiro, embora tenham sido constatados ganhos de produtividade expressivos nas entradas de dados 7 e 27 (Figura 7).

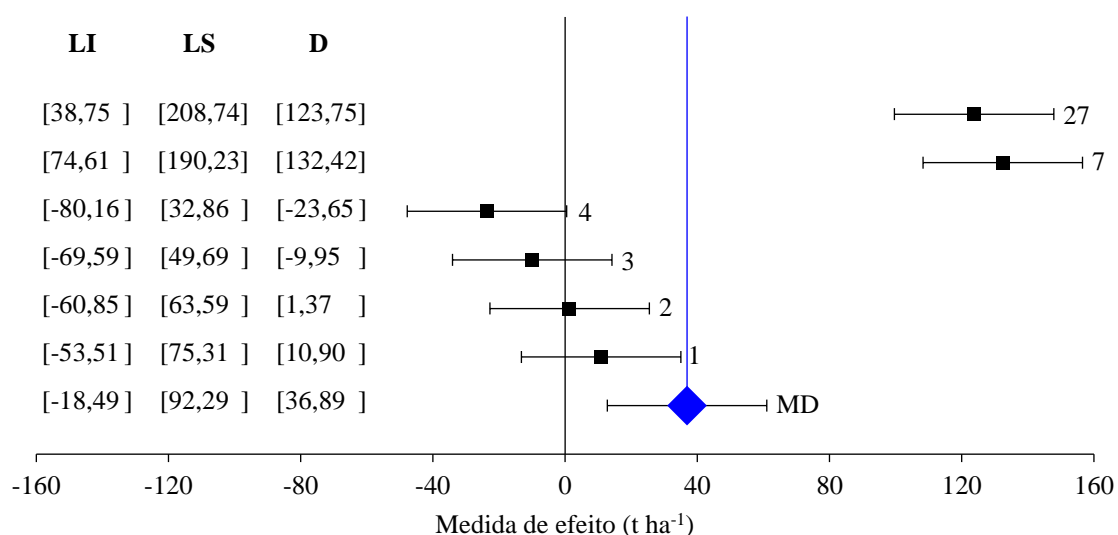


Figura 7. Forest plot da distribuição de diferenças de produtividade de palma forrageira irrigada comparada à cultivada em condições de sequeiro no quinto subgrupo. LI: limite inferior, LS: limite superior, D: diferença de produtividade, MD: média das diferenças, (■): tamanho do efeito e (◆): estimativa meta-analítica. Campina Grande, PB, 2017.

A ausência de diferença significativa entre palma de sequeiro e irrigada no quinto subgrupo (entradas 1, 2, 3 e 4) pode ser atribuída às condições meteorológicas em que experimento original de Queiroz *et al.* (2015) foi conduzido. Estes pesquisadores reportam que as lâminas de água recebidas pelo sistema (somadas precipitação e irrigação) para os tratamentos de 0; 8,75; 17,5; 26,35 e 35% da evapotranspiração de referência, correspondendo a 976; 1048; 1096; 1152 e 1202 mm, com diferença entre a menor e maior lâmina fornecida, de 226 mm, como consequência, as lâminas de irrigação não influenciaram a produtividade.

Ressalte-se que lâminas de água em excesso inibem o crescimento e desenvolvimento das plantas de palma forrageira (FLORES-HERNÁNDEZ *et al.*, 2004; BAJGAIN *et al.*, 2015), notadamente por ser uma espécie cactácea em que o baixo consumo de água (SILVA *et al.*, 2014) induz maior manutenção de umidade do solo. De fato, os incrementos de produtividade em resposta ao aumento da lâmina de água para a palma forrageira são mais evidentes em regiões com níveis pluviométricos inferiores à demanda da cultura em comparação com regiões nas quais os valores de precipitação superam 740 mm (QUEIROZ *et al.*, 2015).

5.1.3.4. Probabilidade de incremento de produtividade

Para os níveis de incremento de produtividade estabelecidos, verificou-se probabilidade de 96% de que ocorra aumento de 60 t ha^{-1} no cultivo irrigado em relação ao sequeiro, enquanto que para os níveis de incremento de 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 e 220 t ha^{-1} , a probabilidade decresce linearmente chegando a 84, 73, 61, 49, 38, 26, 14 e 3% (Figura 8A). A probabilidade de que não ocorra incremento de produtividade aumenta linearmente, obtendo-se probabilidades de 4, 15, 27, 39, 51, 62, 74, 86 e 97%, respectivamente (Figura 8B).

Utilizando-se da estimativa meta-analítica e valores de dispersão dos estudos e assumindo-se que o conjunto apresentava distribuição normal, Tupich *et al.* (2017) efetuaram a estimativa da probabilidade de ganho em produtividade com a utilização do fungicida fluazinam para o controle de mofo branco da soja e verificaram que, conforme esperado, quanto maior o incremento esperado na produtividade, menor foi a probabilidade de ocorrer este incremento corroborando com o presente estudo. Acrescente-se que Paul *et al.* (2010), estudando a influência de tratamentos com

fungicidas na cultura do trigo, constataram que à medida em que se eleva a resposta em produtividade estimada, a probabilidade de ocorrência diminui até um ponto de equilíbrio onde não se há mais benefício.

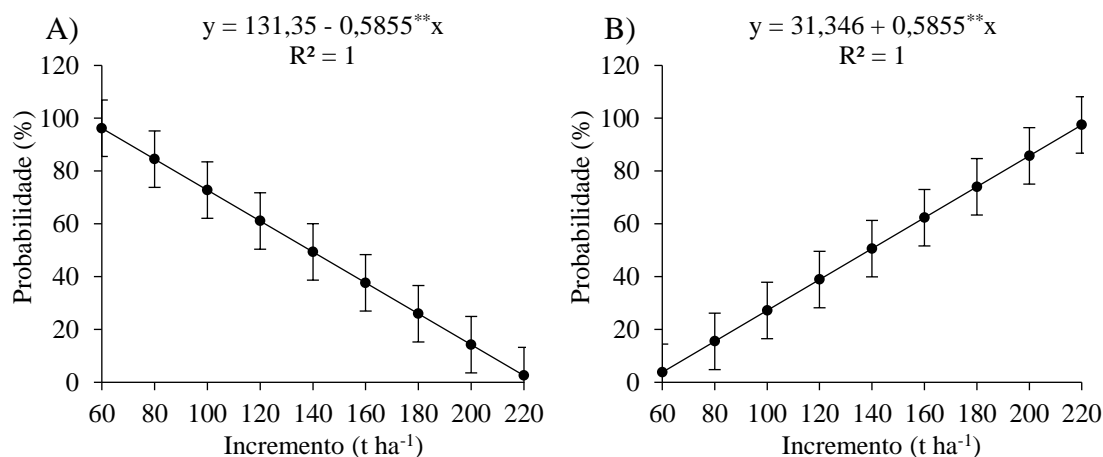


Figura 8. Probabilidade de ocorrência (A) e de não ocorrência (B) de incremento de produtividade da palma forrageira sob lâminas de irrigação. Campina Grande, PB, 2017.

É importante ressaltar que na literatura especializada não existem, ou são desconhecidos, estudos meta-analíticos precedentes com a influência da irrigação em comparação ao cultivo de sequeiro na cultura da palma forrageira, de modo que este estudo configura-se em importante ferramenta de suporte na tomada de decisões sobre a utilização de irrigação para incremento de produtividade de palma forrageira, notadamente em regiões semiáridas onde as precipitações pluviais não atendem adequadamente a demanda hídrica da cultura.

5.1.4. Conclusão

Os cultivos de palma forrageira irrigados possuem incremento de produtividade de 53,54 t ha⁻¹ ano⁻¹ quando comparados aos cultivos de sequeiro, podendo chegar a produtividades de 80,25 t ha⁻¹ ano⁻¹ com elevadas lâminas de irrigação em ambientes restritivos e 26,83 t ha⁻¹ ano⁻¹ com menores lâminas em ambientes com maior ocorrência de chuvas, havendo probabilidade de obtenção de produtividades ainda mais elevadas com adoção de sistemas de manejo da adubação associados à irrigação.

5.1.5. Literatura Citada

ARIAS-MORENO, D. M.; JIMÉNEZ-BREMONT, J. F.; MARURI-LÓPEZ, I.; DELGADO-SÁNCHEZ, P. Effects of catalase on chloroplast arrangement in *Opuntia streptacantha* chlorenchyma cells under salt stress. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 8656-8670, 2017.

BAJGAIN, R.; KAWASAKI, Y.; AKAMATSU, Y.; TANAKA, Y.; KAWAMURA, H.; KATSURA, K.; SHIRAIWA, T. Biomass production and yield of soybean grown under converted paddy fields with excess water during the early growth stage. **Field Crops Research**, v. 180, p. 221-227, 2015.

BARROS, J. L.; DONATO, S. L. R.; GOMES, V. M.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A.; PADILHA JÚNIOR, M. C. Palma forrageira ‘gigante’ cultivada com adubação orgânica. **Revista Agrotecnologia**, v. 7, n. 1, p. 53-65, 2016.

BAYAR, N.; FRIJI, M.; KAMMOUN, R. Optimization of enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal. **Food Chemistry**, v. 241, n. 1, p. 127-134, 2018.

BOWDEN, J.; TIERNEY, J. F.; COPAS, A.; BURDETT, S. Quantifying, displaying and accounting for heterogeneity in the meta-analysis of RCTs using standard and generalised Q statistics. **BMC Medical Research Methodology**, v. 11, p. 41, 2011.

BUJKIEWICZ, S.; THOMPSON, J. R.; SPATA, E.; ABRAMS, K. R. Uncertainty in the Bayesian meta-analysis of normally distributed surrogate endpoints. **Statistical Methods in Medical Research**, v. 26, n. 5, p. 2287-2318, 2015.

COGO, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G.; ROJAS, E. P.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Arbuscular mycorrhiza in *Coffea Arabica* L.: Review and meta - analysis. **Coffee Science**, v. 12, n. 3, p. 419-443, 2017.

DANTAS, F. D. G. **Lâminas de água salina e doses de adubação orgânica na produção de palma miúda adensada no semiárido**. 2015. 92 p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, RN, 2015.

DANTAS, F. D. G.; NOVAES, L. P.; LIMA, G. F. da C.; GUEDES, F. X.; REGO, M. M. T.; SOUZA SOBRINHO, F. de; AGUIAR, E. M. de. Produtividade da palma Miúda sob irrigação com diferentes níveis de água salina e doses de adubação orgânica no semiárido do Rio Grande do Norte. In: 52ª REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, **Anais...** Belo Horizonte – MG, 2015.

DASH, R.; MISRA, B. B. Performance analysis of clustering techniques over microarray data: A case study. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 1, p. 162-176, 2018.

DERSIMONIAN, R.; LAIRD, N. Meta-analysis in clinical trials. **Controlled Clinical Trials**, v. 7, p. 177-188, 1986.

FERRAZ, R. L. de S.; COSTA, P. da S.; DANTAS NETO, J.; ANJOS, F. A. dos; BARRETO, N. P.; SOARES, L. da S.; MAGALHÃES, I. D.; BARBOSA, M. de A. *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae) in Climate Change Scenarios and Its Potential for Wastewater Bioremediation in Semi-Arid Regions: A Systematic Review and Meta-Analysis. **American Journal of Experimental Agriculture**, v. 18, n. 3, p. 1-11, 2017.

FLORES-HERNÁNDEZ, A.; CASTILLO, I. O.; AMADOR, B. M.; HERNÁNDEZ, J. L. G.; TROYO-DIEGUEZ, E. Yield and physiological traits of prickly pear cactus ‘nopal’ (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 70, n. 2, p. 97-107, 2004.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. 120p.

Gil, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 200p.

GIUSTINI, D.; BARSKY, E. A look at Google Scholar, PubMed, and Scirus: comparisons and recommendations. **Journal of the Canadian Health Libraries Association**, v. 26, p. 85-89, 2005.

HANNACHI, S.; LABEKE, M. C. V. Salt stress affects germination, seedling growth and physiological responses differentially in eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 228, n. 1, p. 56-65, 2018.

HIGGINS, J. P. T.; GREEN, S. **Cochrane handbook for systematic reviews of interventions**. Chichester: Wiley-Blackwell, 2008. 672p.

HIGGINS, J. P.; THOMPSON, S. G. Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. **Statistics in Medicine**, v. 21, n. 11, p. 1539-1558, 2002.

KOLMOGOROV, A. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. **Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari**, v. 4, p. 83-91, 1933.

LEE, K. J.; THOMPSON, S. G. Flexible parametric models for random-effects distributions. **Statistics in Medicine**, v. 27, p. 418-434, 2008.

LIMA, A. O. de L.; MOCHÓN, L. G.; TAMAYO, C. B. Identificación de indicadores de resultado en salud en atención primaria. Una revisión de revisiones sistemáticas. **Revista de Calidad Asistencial**, v. 32, n. 5, p. 278-288, 2017.

LIMA, G. F. C.; SILVA, J. G. M. da; AGUIAR, E. M. de; TELES, M. M. **Reservas forrageiras estratégicas para a pecuária familiar no semiárido: palma, feno e silagem**. Natal: EMPARN, 2010, 53 p. (Circuito de tecnologias adaptadas para a agricultura familiar, 7). Disponível em <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/EMPARN/DOC/DOC000000000024939.PDF>>.

Acesso em: 29 nov. 2017.

LIRA, M. de A.; SANTOS, M. V. F. dos; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA JÚNIOR, M. de A.; MELLO, A. C. L. de. Sistemas de produção de forragem: alternativas para sustentabilidade da pecuária. In: 43ª REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, **Anais...** João Pessoa – PB, 2006.

LITTELL, J. H.; CORCORAN, J.; PILLAI, V. **Systematic reviews and meta-analysis**. Oxford University Press, 2008.

MACASKILL, P.; GATSONIS, C.; DEEKS, J. J.; HARBORD, R. M.; TAKWOINGI, Y. Analysing and Presenting Results. In: DEEKS, J. J.; BOSSUYT, P. M.; GATSONIS, C. (Ed.). **Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Diagnostic Test Accuracy**. Version 1.0. The Cochran Collaboration, 2010.

MADDEN, L. V.; PAUL, P. A. Meta-analysis for evidence synthesis in plant pathology: an overview. **Phytopathology**, v. 101, n. 1, p. 16-30, 2011.

MCDONAGH, M.; PETERSON, K.; RAINA, P.; CHANG, S.; SHEKELLE, P. Avoiding Bias in Selecting Studies. In: MCDONAGH, M.; PETERSON, K.; RAINA, P.; CHANG, S.; SHEKELLE, P. (Ed.). **Methods Guide for Comparative Effectiveness Reviews**. Rockville: AHRQ, 2013.

MANCA, A; CUGUSI, L.; DVIR, Z.; DERIU, F. Non-corresponding authors in the era of meta-analyses. **Journal of Clinical Epidemiology**, v. 98, p. 159-161, 2018.

MELINE, T. Selecting Studies for Systematic Review: Inclusion and Exclusion Criteria. **Contemporary Issues in Communication Science and Disorders**, v. 33, p. 21-27, 2006.

MISHRA, S.; DATTA-GUPTA, A. Multivariate Data Analysis. In: MISHRA, S.; DATTA-GUPTA, A. (Ed.). **Applied Statistical Modeling and Data Analytics**. Amsterdã: Elsevier, 2018. 97-118p.

MORAIS, J. E. F. de. **Evapotranspiração real efetiva e indicadores agrometeorológicos e econômicos em cultivo de palma forrageira irrigada**. 2016. 81 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, PE, 2016.

MUGNAINI, R.; STREHL, L. Recuperação e impacto da produção científica na Era Google: uma análise comparativa entre o Google Acadêmico e a Web of Science. **Revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, p. 92-105, 2008.

NORUZI, A. Google Scholar: the new generation of citation indexes. **Libri**, v. 55, n. 4, p. 170-180, 2005.

PAUL, P. A.; LIPPS, P. E.; HERSHMAN, D. E.; MCMULLEN, M. P.; DRAPER, M. A.; MADDEN, L. V. Efficacy of triazole-based fungicides for fusarium head blight and deoxynivalenol control in wheat: A multivariate meta-analysis. **Phytopathology**, v. 98, n. 9, p. 999-1011, 2008.

PAUL, P. A.; MCMULLEN, M. P.; HERSHMAN, D. E.; MADDEN, L. V. Meta-analysis of the effects of Triazole-Based Fungicides on Wheat Yield and test Weight as Influenced by Fusarium Head Blight Intensity. **Phytopathology**, v. 100, n. 2, p. 160-171, 2010.

QADER, S. H.; DASH, J.; ATKINSON, P. M. Forecasting wheat and barley crop production in arid and semi-arid regions using remotely sensed primary productivity and crop phenology: A case study in Iraq. **Science of the Total Environment**, v. 613, n. 1, p. 250-262, 2018.

QUEIROZ, M. G. de; SILVA, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S. e; LIMA, L. R.; ALVES, J. de O. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 931-938, 2015.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2017. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 29 nov, 2017.

SANTIAGO, E. D.; DOMÍNGUEZ-FERNÁNDEZ, M.; CID, C.; PEÑA, M. P. D. Impact of cooking process on nutritional composition and antioxidants of cactus cladodes (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 240, p. 1055-1062, 2018.

SANTOS, E. J. F. dos; CUNHA, M. Interpretação crítica dos resultados estatísticos de uma meta-análise: estratégias metodológicas. **Millenium**, v. 44, p. 85-98, 2013.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika Trust**, v. 52, n. 3/4, p. 591-609, 1965.

SILVA, P. F. da. **Crescimento e produtividade de palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada**. 2017. 79 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2017.

SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; SILVA, S. M. S.; MOURA, M. S. B.; SANTOS, D. C.; SILVA, M. C.; ARAÚJO, J. E. M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Revista Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 184-191, 2014.

SMIRNOV, N. Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions. **Annals of Mathematical Statistics**, v. 19, n. 2, p. 279-281, 1948.

SNELL, K. I. E.; ENSOR, J.; DEBRAY, T. P. A.; MOONS, K. G. M.; RILEY, R. D. Meta-analysis of prediction model performance across multiple studies: Which scale helps ensure between-study normality for the C-statistic and calibration measures? **Statistical Methods in Medical Research**, p. 1-18, 2017.

SOUSA, A. P. F. de. **Palma forrageira adubada e irrigada no Sertão Paraibano**. 2015. 54 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB, 2015.

STATSOFT INC. **Statistica: data analysis software system**. version 7, 2004.

SUN, J.; FREEMAN, B. D.; NATANSON, C. Meta-analysis of Clinical Trials. In: GALLIN, J. J.; OGNIBENE, F. P.; JOHNSON, L. L. (Ed.). **Principles and Practice of Clinical Research**. Amsterdã: Elsevier, 2018. 317-327p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBILDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Revista do Hospital de Clínicas de Porto Alegre**, v. 32, n. 2, p. 227-234, 2012.

TUPICH, F. L. B.; FANTIN, L. H.; SILVA, A. L.; CANTERI, M. G. Impacto do controle do mofo-branco com fluazinam na produtividade da soja no Sul do Paraná: metanálise. **Summa Phytopathologica**, v. 43, n. 2, p.145-150, 2017.

TWEED, S.; CELLE-JEANTON, H.; CABOT, L.; HUNEAU, F.; MONTETY, V. D.; NICOLAU, N.; TRAVI, Y.; BABIC, M.; AQUILINA, L.; VERGNAUD-AYRAUD, V.; LEBLANC, M. Impact of irrigated agriculture on groundwater resources in a temperate humid region. **Science of the Total Environment**, v. 613, n. 1, p. 1302-1316, 2018.

VIECHTBAUER, W. Conducting meta-analyses in R with the metafor package. **Journal Statistical Software**, v. 36, n. 3, p. 1-48, 2010.

VOLPE, M.; GOLDFARB, J. L.; FIORI, L. Hydrothermal carbonization of *Opuntia ficus-indica* cladodes: Role of process parameters on hydrochar properties. **Bioresource Technology**, v. 247, n. 1, p. 310-318, 2018.

6. CAPÍTULO 2

6.1. Composição Mineral de Variedades de Palma Forrageira sob Níveis de Reposição Hídrica e Fertirrigação com Nitrogênio

Resumo: O cultivo da palma forrageira irrigada no semiárido brasileiro justifica-se por sua adaptação às condições edafoclimáticas locais e elevado potencial produtivo. Objetivou-se avaliar o estado nutricional de variedades de palma forrageira sob níveis de reposição hídrica e fertirrigação com 900 kg ha⁻¹ de nitrogênio durante 18 meses no semiárido Brasileiro. O experimento de campo foi conduzido em Santa Luzia, PB, em blocos casualizados, instalado em esquema fatorial 3x5, sendo três variedades de palma forrageira (Baiana, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana) e cinco níveis de reposição da evapotranspiração de referência (25, 50, 75, 100 e 125% da ETo), com três repetições. Foram avaliados os teores dos macronutrientes, N, P, K, Ca, Mg e S e dos micronutrientes Cu, Fe, Mn, Zn, Cl, Na e B. Os dados foram submetidos à análise exploratória de Componentes Principais. Foi constatada a formação de dois Componentes Principais, os quais explicam juntos 74,90%, 90,53% e 87,01% do efeito dos níveis de reposição hídrica nos teores de nutrientes das variedades ‘Baiana’, ‘Miúda’ e ‘Orelha de Elefante Mexicana’, respectivamente. A composição mineral das variedades de palma forrageira ‘Baiana’, ‘Miúda’ e ‘Orelha de Elefante Mexicana’ pode ser otimizada a partir do manejo de água no solo, de modo a ser obter balanço nutricional adequado para maior produtividade. O nível de reposição de 75% da ETo proporcionou maior equilíbrio entre os nutrientes nos cladódios das variedades de palma forrageira ‘Baiana’ e ‘Miúda’. A variedade ‘Orelha de Elefante Mexicana’ teve melhor balanço nutricional com os níveis de reposição de 100 e 125% da ETo. Os níveis de reposição de água no solo de 100 e 125% da ETo promovem elevado acúmulo de íons Na⁺ e Cl⁻ nos cladódios das variedades de palma forrageira. Dentre as variedades, a ‘Orelha de Elefante Mexicana’ teve maior capacidade de acúmulo de nutrientes, seguida da ‘Baiana’ e da ‘Miúda’, respectivamente, nas condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro.

Palavras-chave: Cactaceae. *Opuntia*. *Nopalea*. Sequeiro. Demanda hídrica.

Mineral Composition of Forage Cactus Varieties under Water Replacement Levels and Nitrogen Fertigation

Abstract: The cultivation of irrigated forage cactus in the Brazilian semi-arid region is justified by its adaptation to local edaphoclimatic conditions and high productive potential. The objective was to evaluate the nutritional status of forage palm varieties under water replenishment levels and fertigation with 900 kg ha⁻¹ of nitrogen for 18 months in the Brazilian semi-arid region. The experiment was conducted in Santa Luzia, PB, in randomized blocks, installed in a 3x5 factorial scheme, being three varieties of forage cactus (Baiana, Miúda and Orelha de Elefante Mexicana) and five levels of reference evapotranspiration replacement (25, 50, 75, 100 and 125% of ETo) with three replicates. Macronutrients N, P, K, Ca, Mg and S, and the Cu, Fe, Mn, Zn, Cl, Na and B micronutrients were evaluated. Data were submitted to the exploratory analysis of Principal Components. It was verified the formation of two Principal Components, which together account for 74,90%, 90,53% and 87,01% of the effect of the levels of water replenishment on the nutrient content of the varieties 'Baiana', 'Miúda' and 'Orelha de Elefante Mexicana', respectively. The mineral composition of the forage palm varieties 'Baiana', 'Miúda' and 'Orelha de Elefante Mexicana' can be optimized from soil water management, in order to obtain adequate nutritional balance for higher productivity. The 75% replenishment level of ETo provided a better balance between nutrients in cladodes of 'Baiana' and 'Miúda' forage cactus varieties. The 'Orelha de Elefante Mexicana' variety had a better nutritional balance with 100 and 125% ETo replacement levels. Soil water replenishment levels of 100 and 125% of the ETo promote high accumulation of Na⁺ and Cl⁻ ions in the cladodes of the forage cactus varieties. Among the varieties, the 'Orelha de Elefante Mexicana' had a higher nutrient accumulation capacity, followed by 'Baiana' and 'Miúda', respectively, under the edaphoclimatic conditions of the Brazilian semi-arid region.

Keywords: Cactaceae. *Opuntia*. *Nopalea*. Rainfed. Water demand.

6.1.1. Introdução

Mundialmente, inúmeras publicações têm sido geradas a respeito das mudanças climáticas e sua influência sobre a vida na Terra. O fato é que a variabilidade climática promove alteração na temperatura do ambiente e no regime de chuvas, refletindo-se em

instabilidade no rendimento das culturas (PRABNAKORN *et al.*, 2018). A escassez hídrica e a redução da qualidade da água evidenciam o uso intensivo deste recurso nos processos produtivos, sobretudo na agricultura irrigada para garantia da segurança alimentar no planeta (MOLINA-NAVARRO *et al.*, 2018).

Atualmente, quase metade das áreas agrícolas dos países em desenvolvimento está localizada em regiões áridas e semiáridas, nas quais a água para a irrigação é essencial. Contudo, a escassez do recurso e limitações na obtenção de água de boa qualidade têm impulsionado o aumento da utilização de água com elevados níveis de salinidade na irrigação, o que caracteriza um cenário recorrente em regiões áridas e semiáridas (XUE *et al.*, 2018), como o Nordeste do Brasil, onde o clima semiárido é predominante, com chuvas esparsas no tempo e no espaço (MARTINS *et al.*, 2018).

Essas informações ressaltam a importância de estratégias de convivência com as características edafoclimáticas do semiárido. Neste sentido, o cultivo de plantas adaptadas consiste em alternativa eficiente para produção em ambientes restritivos. As plantas que utilizam o metabolismo ácido crassuláceo (CAM) são tolerantes aos estresses abióticos, o que se justifica pela elevada eficiência em fixação de CO₂ e associação com microrganismos benéficos na rizosfera (CITLALI *et al.*, 2018).

Dentre as plantas CAM adaptadas ao semiárido, os cactos dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* merecem destaque, notadamente por sua expressiva importância como matéria prima para a indústria, forragem para os rebanhos e na alimentação humana, sobretudo devido a sua composição química com nutrientes minerais, gorduras, carboidratos, fibras, energia, ácidos graxos e antioxidantes, embora tenham baixos teores de proteína (ALENCAR *et al.*, 2018; BAYAR *et al.*, 2018; SANTIAGO *et al.*, 2018; VOLPE *et al.*, 2018).

A palma forrageira expressa incremento significativo de produtividade em função da densidade de plantio e tratos culturais, sobretudo adubação e irrigação. De fato, em cultivo adensado (40.000 plantas ha⁻¹) de palma forrageira ‘Miúda’, constatou-se que incrementos de nitrogênio (N) e fósforo (P) promovem ganhos expressivos de produtividade e redução dos teores de N e P nos cladódios, evidenciando a necessidade de avaliação da composição mineral da cultura em cultivos adubado e irrigados (MARQUES *et al.*, 2017; SOUZA *et al.*, 2017).

A irrigação promove aumento de produção e produtividade de palma forrageira em ambientes com restrição hídrica. Contudo, o acúmulo elevado de fitomassa pode aumentar a demanda por nutrientes. Assim, objetivou-se avaliar o estado nutricional de variedades de palma forrageira sob níveis de reposição hídrica e fertirrigação com 900 kg ha⁻¹ de nitrogênio no semiárido brasileiro.

6.1.2. Material e Métodos

6.1.2.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no período compreendido entre maio de 2015 e dezembro de 2016, em condições de campo, localizado na fazenda Poço Redondo, município de Santa Luzia, microrregião do Seridó Ocidental Paraibano, latitude 06° 52' 27'' S, longitude 36° 56' 00'' WGr, e altitude de 299 m.

O clima da região é do tipo Bsh-Tropical, quente seco, semiárido com chuvas de verão (KÖPPEN; GEIGER, 1928). Anualmente, a média de precipitação pluviométrica da região é de 500 mm, com temperatura mínima de 22,3 °C, média de 27,6 °C, máxima de 33,0 °C e umidade relativa do ar variando entre 50 e 70%. Durante a condução do experimento, as variáveis meteorológicas foram monitoradas e expressas em climograma (Figura 1).

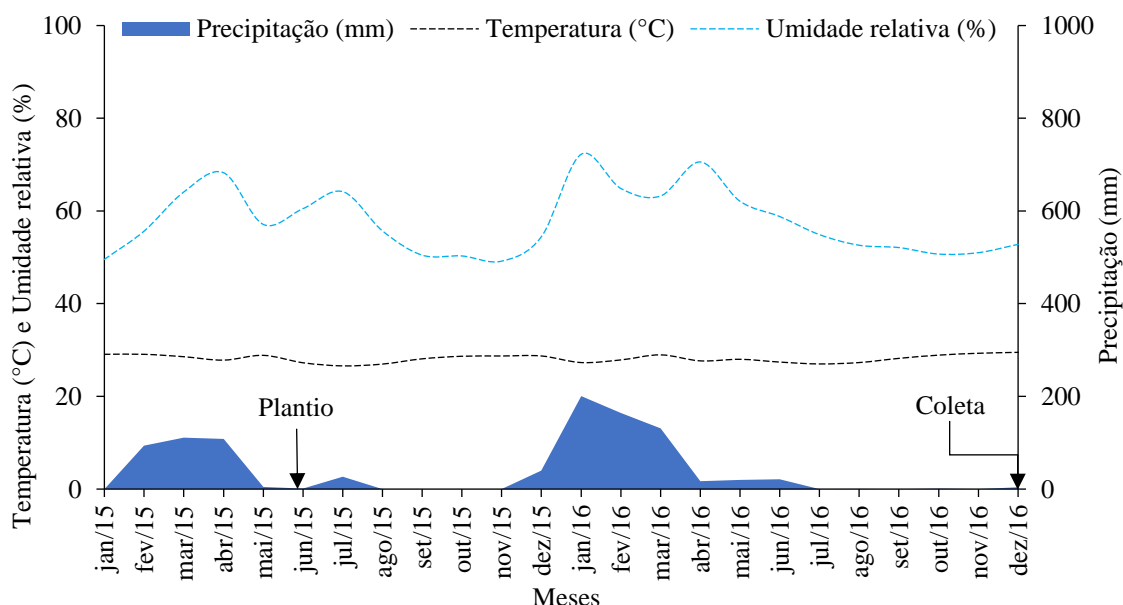


Figura 1. Climograma das variáveis meteorológicas registradas durante o período de condução do experimento. Santa Luzia, PB, 2015/2016.

O solo da área experimental foi classificado, conforme a textura, como Franco-arenoso. Para tanto, foram coletadas amostras simples nas profundidades de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, as quais foram homogeneizadas, acondicionadas em sacos plásticos e transportadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) para caracterização química e físico-hídrica (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Caracterização química do complexo sortivo e extrato de saturação do solo da área experimental em duas profundidades. Santa Luzia, PB, 2018.

Profundidade (m)	Complexo Sortivo											
	pH ¹	MO	N	P	K	Ca	Mg	Na	H ⁺	Al ³⁺	SB	CTC
	%
0,00-0,20	5,83	0,38	0,02	4,75	0,60	4,18	2,48	0,17	0,18	0,00	7,43	7,61
0,20-0,40	6,15	0,22	0,01	4,78	0,63	4,65	2,86	0,51	0,15	0,00	8,65	8,80

Profundidade (m)	Extrato de Saturação									
	pH ¹	Cl	CO ₃	HCO ₃	Ca	Mg	K	Na	CEes	RAS
	
0,00-0,20	5,44	7,50	0,00	9,90	5,12	1,50	3,70	2,37	1,14	1,30
0,20-0,40	5,70	19,50	0,00	9,90	9,87	3,00	14,08	5,96	2,86	2,35

¹: pH em água; MO: matéria orgânica; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; CEes: condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; e RAS: razão de adsorção de sódio. Fonte: Silva (2017).

Tabela 2. Caracterização físico-hídrica do solo da área experimental em duas profundidades. Santa Luzia, PB, 2015.

Profundidade (m)	Areia	Silte	Argila	n	DS	DP	U-0,1	U-0,3	U-1,0	U-5,0	U-10,0	U-15,0	AD
	.....%	.....	.....	.....	.....g cm ⁻³	.....	.....	.....	.....	.....%	.....	.....	.....
0,00-0,20	74,83	17,28	7,89	44,23	1,47	1,89	18,56	12,10	9,34	5,15	4,88	4,44	7,66
0,20-0,40	67,71	18,30	13,99	46,48	1,39	2,60	20,14	14,79	10,28	6,29	6,01	5,39	9,40

n: porosidade, DS: densidade do solo, DP: densidade de partícula, U: umidade do solo entre 0,1 e 15 atmosfera e AD: água disponível no solo. Fonte: Silva (2017).

A água utilizada para irrigação durante o experimento foi monitorada quanto à composição química. Para tanto, a cada três meses foram coletadas amostras de água proveniente de um poço Amazona distante 80 m da área experimental. As amostras foram transportadas ao LIS/CTRN/UFCG, sendo obtidos os seguintes dados médios de composição química da água: pH = 7,48, Ca = 2,21 meq L⁻¹, Mg = 2,98 meq L⁻¹, Na = 8,44 meq L⁻¹, K = 0,56 meq L⁻¹, CO₃ = 0,64 meq L⁻¹, HCO₃ = 3,25 meq L⁻¹, Cl = 11,47 meq L⁻¹, sulfatos = presentes, razão de adsorção de sódio - RAS = 5,24 meq L⁻¹ e condutividade elétrica - CEa = 1,37 dS m⁻¹, sendo classificada como C₃S₁ (RICHARDS, 1954).

6.1.2.2. Delineamento experimental

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 3x5, onde o primeiro fator foi constituído de três variedades de palma forrageira (BA = Baiana; MI = Miúda e OR = Orelha de Elefante Mexicana) e o segundo fator constituído de cinco níveis de reposição da água evapotranspirada pela cultura (25, 50, 75, 100 e 125% da ETo), com três repetições, totalizando 45 unidades experimentais.

Cada parcela possuía área de 14,4 m², constituídas de uma fileira dupla com espaçamento de 0,4 m entre linhas; 2,0 m entre fileiras duplas e 0,25 m entre plantas com 5 m de comprimento e 1 m de bordadura, adotando-se área útil de 0,6 m² na parcela, totalizando 648 m². A partir da análise de fertilidade do solo, foi realizada adubação orgânica com 1 kg de esterco bovino por metro linear. Seguindo recomendação de Santos *et al.* (2006), também foi realizada adubação fosfatada com 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e potássica com 65 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando-se de 200 kg ha⁻¹ de monoamônio fosfato (MAP) e 108,33 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl) como fontes destes nutrientes. A adubação nitrogenada foi realizada utilizando-se de 900 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), utilizando-se de 2.000 kg ha⁻¹ de ureia como fonte de N, disponibilizada via fertirrigação mensal, parcelada em 18 meses (SILVA, 2017).

6.1.2.3. Propágulos vegetativos e plantio

Os propágulos vegetativos foram obtidos de produtores rurais do município de Santarém, PB, em parceria com o Instituto Nacional do Semiárido (INSA). Procedeu-se seleção deste material, optando-se por cladódios uniformes, isentos de pragas e doenças. Após a triagem, os cladódios foram mantidos em ambiente aberto com luminosidade reduzida durante sete dias, para desidratação parcial e cicatrização das lesões provocadas por ocasião do corte (SILVA, 2017).

O plantio dos cladódios foi realizado no dia 29 de maio de 2015, seguindo a recomendação de Suassuna (1993). Para tanto, o material propagativo foi disposto nos sulcos de plantio, com a face do cladódio voltada para o nascer do sol, com inclinação de 45° e 50% do cladódio enterrado em alinhamento bilateral.

6.1.2.4. Aplicação de tratamentos e tratos culturais

Para reposição dos níveis de ETo, utilizou-se de um sistema de irrigação localizado do tipo gotejamento, constituído de tubo gotejador com espessura da parede de 0,2 mm; diâmetro interno de 16 mm; espaçamento entre gotejadores 0,20 m; pressão nominal de 68,6 kPa; vazão de 6,0 L h⁻¹ m⁻¹; equação do emissor $q = 0,46 \times p^{0,5}$, sendo a eficiência de aplicação do sistema de 0,96.

O sistema de irrigação foi pressurizado, utilizando-se de um conjunto motobomba centrífuga de 3 CV. No recalque, foi utilizado um filtro de disco de 2" e nas linhas laterais (55 m) manômetros do tipo Bourdon testados e aferidos antes das irrigações. No início da área experimental, foi instalado um hidrômetro para a contabilização da quantidade de água aplicada durante a condução do experimento.

Para cada nível de reposição da ETo, foi quantificada a lâmina líquida de irrigação (La), em mm, levando-se em consideração a fração da lâmina aplicada em cada parcela (LAP), em decimal; e a precipitação efetiva no período (P), em mm, utilizando-se da expressão: $La = (ETo * LAP) - P$. A lâmina bruta (LB) foi calculada a partir da eficiência de aplicação do sistema (Ea), em decimal, utilizando-se da expressão: $LB = La/Ea$. Os valores aplicados na irrigação, em cada tratamento, corresponderam a 111,32, 222,65, 333,98, 445,31 e 556,64 mm, somados à precipitação durante o período chegaram a 578,22, 689,55, 800,88, 912,21 e 1.023,54 mm.

Seguindo recomendação de Mantovani *et al.* (2012), foi calculada a intensidade de aplicação do sistema de irrigação (Ia), em mm h⁻¹; levando-se em consideração o número de emissores (Ne), dois por planta; a vazão dos emissores, 1,21 L h⁻¹; e a área ocupada por planta (A), 0,30 m², utilizando-se da expressão: $Ia = (Ne * q)/A$. O tempo de irrigação (Ti) necessário para reposição da ETo em cada tratamento foi calculado a partir da lâmina bruta (LB), em mm; e da intensidade de aplicação do sistema de irrigação (Ia), em mm h⁻¹, utilizando-se da expressão: $Ti = LB/Ia$.

6.1.2.5. Análise do estado nutricional

Transcorridos 540 dias após o plantio (DAP), foram coletados três cladódios de plantas distintas na área útil de cada parcela, padronizados por peso, tamanho e estágio de desenvolvimento. As amostras foram pesadas para obtenção da massa da amostra fresca (g) e conduzidas ao Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem (LEID)

do CTRN/UFCG, onde foram cortadas em pedaços, acondicionadas em sacos de papel previamente identificados e conduzidas à estufa de circulação forçada de ar a 60 °C até atingirem massa constante. Posteriormente, o material foi pesado, triturado, peneirado utilizando-se de peneiras de 1,0 mm e armazenados em recipientes hermeticamente fechados (SOUSA, 2015).

Os recipientes com as amostras foram transportados ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) para análise do estado nutricional, expresso por meio dos teores dos macronutrientes, N, P, K, Ca, Mg e S e dos micronutrientes Cu, Fe, Mn, Zn, Cl, Na e B, utilizando-se da metodologia da Embrapa (2009).

6.1.2.6. Análise estatística

Os dados foram padronizados, de modo a tornar a média nula ($\bar{X} = 0,0$) e variância unitária ($\sigma^2 = 1,0$). A estrutura multivariada dos resultados foi avaliada por meio da Análise exploratória de Componentes Principais (ACP), condensando-se a quantidade de informação relevante contida no conjunto de dados originais em um menor número de dimensões, resultantes de combinações lineares das variáveis originais geradas a partir dos autovalores mais elevados ($\lambda > 1,0$) na matriz de covariância, explicando uma porcentagem maior que 10% da variância total (GOVAERTS *et al.*, 2007).

Apenas variáveis com coeficiente de correlação superior a 0,5 foram mantidas na composição de cada Componente Principal (CP) (HAIR *et al.*, 2009). Variáveis não associadas aos CPs ($r < 0,5$) foram removidas do banco de dados padronizado e uma nova análise foi realizada. Para o processamento das análises utilizou-se do *software* Statistica v. 7.0 (STATSOFT, 2004).

6.1.3. Resultados e Discussão

Na palma forrageira ‘Baiana’, a partir da Análise de Componentes Principais (ACP), foi possível condensar o número de variáveis originais (nutrientes) em dois Componentes Principais (CP₁ e CP₂), os quais juntos retiveram 74,90% da variância total acumulada no experimento. O CP₁ representa 46,56% da variância total e foi formado a partir da combinação linear entre os teores de N, P, Mg, Na, Cl, S, Zn e Fe,

enquanto que o CP₂ responde por 28,34% da variância remanescente e foi formado a partir da combinação linear entre os teores de Ca, B, Cu e Mn (Tabela 3). Os teores de K não foram relacionados nos CP₁ e CP₂. Os teores absolutos de macro e micronutrientes da palma ‘Baiana’ obtidos em cada nível de reposição da ETo estão relacionados na Tabela 3.

Tabela 3. Autovalores, variância, coeficientes de correlação entre Componentes Principais e variáveis e médias de tratamentos na palma forrageira variedade ‘Baiana’. Campina Grande, PB, 2018.

CPs	λ	$\sigma^2\%$	Cargas Fatoriais (r)											
			N ¹	P ¹	Ca ¹	Mg ¹	Na ¹	Cl ¹	S ²	B ²	Cu ²	Zn ²	Fe ²	Mn ²
CP ₁	5,59	46,56	-0,74*	0,59*	-0,03	-0,92*	-0,74*	-0,88*	-0,86*	-0,69	-0,46	0,73*	-0,68*	-0,30
CP ₂	3,40	28,34	0,16	-0,57	-0,95*	-0,22	-0,23	0,17	-0,18	-0,71*	0,68*	-0,32	0,28	-0,92*
ETo			Médias											
25%			18,38	2,83	44,55	16,69	3,07	47,70	31,51	93,62	6,70	63,89	77,36	608,62
50%			20,83	2,33	44,55	16,51	2,57	49,76	54,73	99,86	9,34	23,65	152,83	694,76
75%			20,65	2,65	49,50	24,95	3,81	78,44	138,60	150,87	10,18	29,38	140,15	1345,30
100%			23,80	1,72	36,37	23,22	4,06	80,56	89,57	101,56	11,53	28,32	136,14	158,47
125%			24,50	2,06	49,50	23,24	4,35	61,48	72,80	138,97	5,57	36,85	124,60	1489,36

CPs: componentes principais; λ : autovalores; $\sigma^2\%$: porção da variância explicada; 1: médias em g kg⁻¹; 2: médias em mg kg⁻¹; ETo: evapotranspiração de referência; e *: variáveis consideradas no CP; r = 0,10-0,30 (fraca); r = 0,40-0,60 (moderada); r = 0,70-1,00 (forte).

Independente do nível de reposição da ETo, a ordem de grandeza de acúmulo de macronutrientes em cladódios da palma ‘Baiana’, em g kg⁻¹, foi: Ca (44,98±4,80) > K (34,32±6,59) > N (21,63±2,24) > Mg (20,92±3,58) > P (2,32±0,40) > S (0,08±0,04) e para micronutrientes, em mg kg⁻¹, a ordem foi: Cl (63588,00±13832,69) > Na (3572,00±656,67) > Mn (859,30±492,80) > Fe (126,22±26,04) > B (116,98±23,28) > Zn (36,42±14,37) > Cu (8,66±2,21).

Com base na combinação linear dos teores de nutrientes em cladódios de palma ‘Baiana’, verificou-se que, no CP₁, valores relativos mais expressivos de N, Cl, Cu e Fe foram obtidos com reposição de 100% da ETo; enquanto que maiores teores relativos de Mg, Na e S foram encontrados com reposição de 75% da ETo; e para P e Zn valores mais expressivos foram evidenciados com reposição de 25% da ETo. No CP₂, observa-se que maior acúmulo relativo de Ca, B e Mn é obtido com 125% da ETo enquanto que maior teor de Cu é obtido sob reposição de 125% da ETo (Figura 2 A e B).

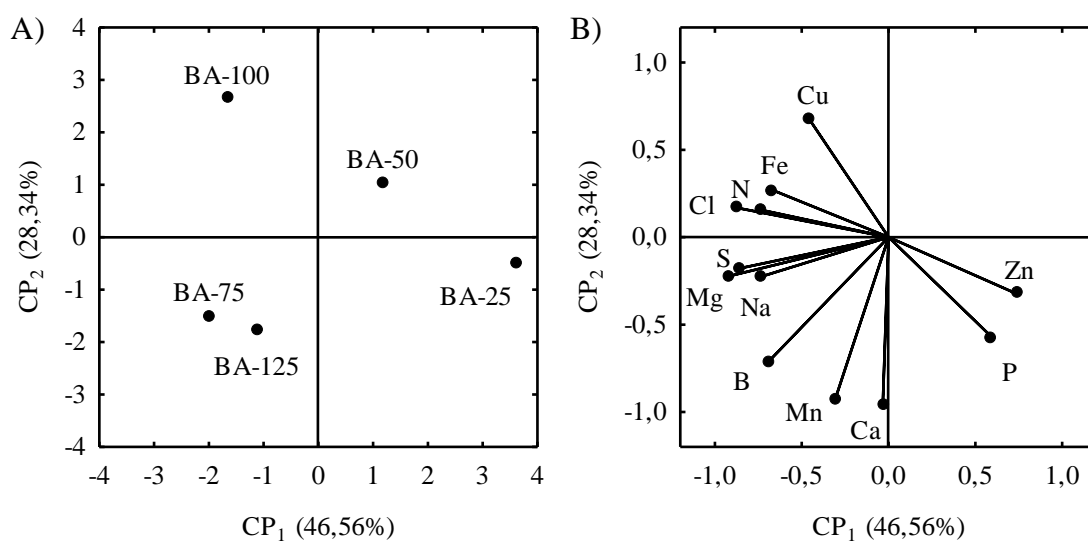


Figura 2. Projeção bidimensional (Biplot) dos níveis de reposição da ETo (A) e correlação de variáveis (B) da palma forrageira ‘Baiana’ nos dois primeiros Componentes Principais (CP₁ e CP₂). Campina Grande, PB, 2018.

Os teores clássicos de macronutrientes, em g kg⁻¹ de matéria seca, da palma forrageira ‘Baiana’ e ‘Miúda’ (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) relatados na literatura são: N (6,7-10,5), P (1,0-1,6), K (8,3-12,1), Ca (20,6-22,5), Mg (10,4-17,0) e S (0,9-1,9). Os teores clássicos de micronutrientes, em mg kg⁻¹ de matéria seca, são: Cu (4,0), Fe (59,0), Mn (430,0), Zn (70,0) e Na (143,0) (GERMANO *et al.*, 1991; BATISTA *et al.*, 2003; MENEZES *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2006; FROTA *et al.*, 2015).

O acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Na da palma ‘Baiana’ sob níveis de reposição da ETo e fertirrigação com 900 kg ha⁻¹ de N foi superior aos valores clássicos relatados na literatura. Este incremento é devido ao maior aporte hídrico e consequente solubilização e disponibilização de nutrientes no solo. De fato, os níveis da ETo repostos mantêm o fluxo hídrico, fundamental para a absorção e transporte destes nutrientes pelas vias simplástica e apoplástica até os elementos traqueais e vasos xilemáticos (TAIZ *et al.*, 2017).

Os baixos teores de S e redução do acúmulo de P e Zn com a fertirrigação podem ter ocorrido em função da lixiviação destes nutrientes no solo, notadamente devido ao incremento de água em cada nível de reposição da ETo (ERIKSEN *et al.*, 2002; ÖSTERHOLM & ASTRÖM, 2004; SMANHOTTO *et al.*, 2010; COSTA *et al.*,

2014). Em sentido complementar, a correlação inversa entre os teores de P e S e os demais nutrientes está associada ao maior acúmulo de fitomassa e remobilização destes nutrientes, o que caracteriza efeito de diluição nos tecidos das plantas (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2006).

É possível que os aumentos nos teores de Na e Cl tenham ocorrido em função da escassez de chuvas e dos incrementos de água de irrigação, isso porque a água utilizada possuía salinidade alta classificada como (C₃) e baixo risco de sodicidade (S₁), conforme classificação do *United States Salinity Laboratory* -USSL (RICHARDS, 1954). Ressalte-se que o acúmulo dos íons Na⁺ e Cl⁻ em excesso pode causar redução dos teores de pigmentos cloroplastídicos, danos ao sistemas de membranas e diminuição da eficiência quântica do fotossistema II, isso justifica a reposição de 125% da ETo para lixiviação destes elementos (LUNA *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2015; ARIAS-MORENO *et al.*, 2017).

Na palma forrageira ‘Miúda’ os teores de macro e micronutrientes foram correlacionados em duas dimensões (CP₁ e CP₂), que representam 90,53% da variância experimental total. O CP₁ responde por 60,72% da variância total, formado a partir da combinação linear entre os teores de N, P, K, Mg, Cl, B, Fe e Mn; e o CP₂ representa 29,81% da variância remanescente, formado a partir dos teores de Na e Cu (Tabela 4). Os teores de Ca e S não foram relacionados nos CP₁ e CP₂. Os teores absolutos de macro e micronutrientes da palma ‘Miúda’ obtidos em cada nível de reposição da ETo estão relacionados na Tabela 4.

Tabela 4. Autovalores, variância, coeficientes de correlação entre Componentes Principais e variáveis e médias de tratamentos na palma forrageira variedade ‘Miúda’. Campina Grande, PB, 2018.

CPs	λ	$\sigma^2\%$	Cargas Fatoriais (r)									
			N ¹	P ¹	K ¹	Mg ¹	Na ¹	Cl ¹	B ²	Cu ²	Fe ²	Mn ²
CP ₁	6,07	60,72	-0,84*	-0,86*	-0,92*	-0,78*	0,05	-0,96*	-0,95*	-0,31	-0,73*	-0,84*
CP ₂	2,98	29,81	0,28	0,48	0,37	-0,59	-0,96*	-0,22	0,01	-0,86*	0,46	-0,52
ETo			Médias									
25%			14,18	0,14	11,68	13,54	2,64	32,86	66,41	5,58	49,07	348,60
50%			17,35	0,20	18,48	14,04	2,26	41,34	69,81	6,16	133,44	434,45
75%			21,35	0,23	34,73	18,47	1,88	60,42	97,02	8,64	148,51	746,21
100%			23,10	0,20	26,16	22,00	3,28	64,66	86,25	9,64	104,15	747,81
125%			14,88	0,17	16,37	20,40	3,67	53,00	80,58	18,44	95,22	814,67

CPs: componentes principais; λ : autovalores; $\sigma^2\%$: porção da variância explicada; 1: médias em g kg⁻¹; 2: médias em mg kg⁻¹; ETo: evapotranspiração de referência; e *: variáveis consideradas no CP; r = 0,10-0,30 (fraca); r = 0,40-0,60 (moderada); r = 0,70-1,00 (forte).

Independente do nível de reposição da ETo, a ordem de grandeza de acúmulo de macronutrientes em cladódios da palma ‘Miúda’, em g kg^{-1} , foi: Ca ($41,94 \pm 3,84$) > K ($21,48 \pm 8,11$) > N ($18,17 \pm 3,52$) > Mg ($17,69 \pm 3,38$) > P ($1,90 \pm 0,31$) > S ($0,08 \pm 0,01$); e para micronutrientes, em mg kg^{-1} , a ordem foi: Cl ($50456,00 \pm 11834,08$) > Na ($2746,00 \pm 65365$) > Mn ($618,35 \pm 188,80$) > Fe ($108,08 \pm 34,41$) > B ($80,01 \pm 11,11$) > Zn ($19,81 \pm 4,80$) > Cu ($9,69 \pm 4,63$) mesma ordem da variedade ‘Baiana’, porém com menores acúmulos.

No CP₁, verificou-se que a palma forrageira ‘Miúda’ tem maior acúmulo relativo de N, P, K, B e Fe sob reposição de 75% da ETo; enquanto que teores relativos de Cl, Mg e Mn são acumulados em maior quantidade com 100% de reposição da ETo, ressalte-se que menor acúmulo desses nutrientes foi evidenciado com 25% de reposição da ETo. No CP₂, verificou-se que a palma ‘Miúda’ acumula maiores teores de Na e Cu quando 125% da ETo é repostada, enquanto que menores teores destes nutrientes foram encontrados com 50% da ETo (Figura 3 A e B).

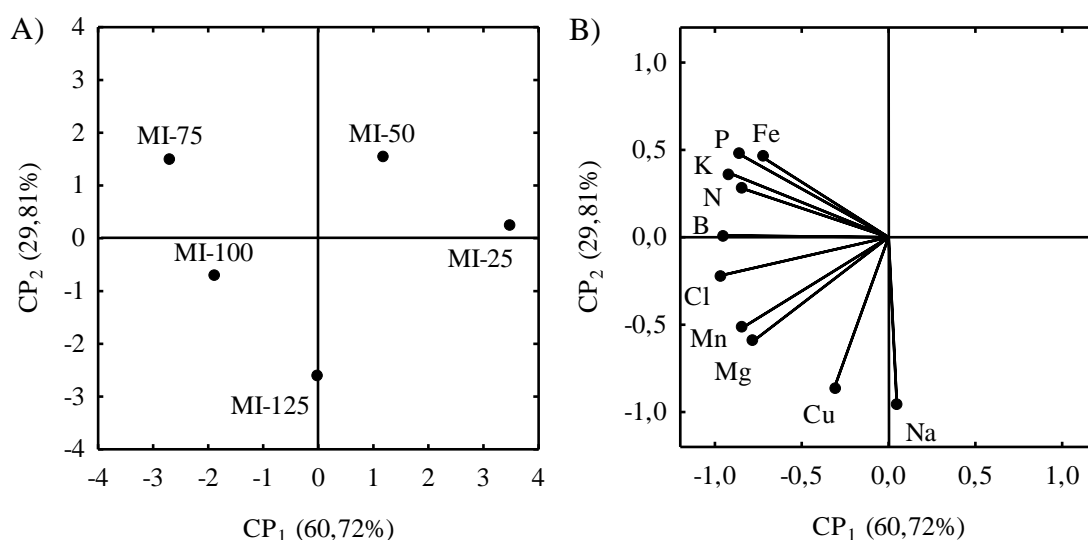


Figura 3. Projeção bidimensional (Biplot) dos níveis de reposição da ETo (A) e correlação de variáveis (B) da palma forrageira ‘Miúda’ nos dois primeiros Componentes Principais (CP₁ e CP₂). Campina Grande, PB, 2018.

A palma ‘Miúda’ teve acúmulo de N, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Na superior àquele relatado na literatura para a espécie *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck, enquanto que os teores de P, S e Zn foram inferiores àqueles. Os aumentos verificados se devem ao fato dos níveis de reposição de 75, 100 e 125% da ETo terem proporcionado maior disponibilidade de água no solo e favorecido maior absorção,

ascensão e transpiração de água pelas plantas, sendo este processo fundamental para a assimilação e remobilização dos nutrientes pela planta (TAIZ *et al.*, 2017).

Maior disponibilidade de água e nitrogênio pode ter induzido o crescimento e desenvolvimento das raízes, isso porque a palma forrageira possui sistema radicular constituído de muitas raízes finas (< 1 mm) distribuídas em rede, localizadas na superfície do perfil do solo (0-20 cm), adaptadas para absorção da água de chuvas leves e até do orvalho. Assim, maior aporte hídrico pode ter promovido crescimento de raízes em camadas mais profundas, devido à percolação de água e carreamento de nutrientes para estas zonas (OLIVEIRA *et al.*, 2010). Ressalte-se que em áreas de clima árido e semiárido, a umidade do solo é geralmente o principal fator que influencia o crescimento radicular (WILCOX *et al.*, 2004).

As informações supracitadas são ratificadas por Snyman (2006) ao constatar que a massa e o comprimento das raízes de palma forrageira tiveram redução significativa com o déficit hídrico, enquanto a relação massa de raízes e comprimento aumentou significativamente. Neste contexto, é possível que o suprimento de água e nitrogênio tenha promovido maior acúmulo de biomassa radicular, bem como estimulado o alongamento de raízes, aumentando a superfície específica para absorção de nutrientes, o que justifica os elevados teores quantificados nesta pesquisa.

O baixo teor de P observado com 25% de reposição da ETo pode estar relacionado à sua baixa mobilidade no solo (SANTOS *et al.*, 2008), além da baixa umidade do solo inibir a colonização micorrízica e reduzir a absorção do nutriente, notadamente devido ao menor diâmetro das hifas dos fungos e consequente diminuição da superfície de contato hifa-solo, convergido para limitação da capacidade de estocar polifosfatos nos vacúolos (SANTOS, 2018).

De fato, a baixa umidade pode ter limitado estes processos, sobretudo porque esses fungos aumentam a disponibilidade de nutrientes, notadamente aqueles de menor mobilidade, como é o caso do fósforo (ABBOUD *et al.*, 2018), potencializam a absorção de água e garantem maior resistência à seca nas plantas hospedeiras (BALOTA *et al.*, 2011). Em sentido complementar, a redução do teor de P sob reposição de 125% da ETo pode ter ocorrido devido à maior solubilização e fluxo da massa hídrica fosfatada para camadas mais profundas onde, prevalece menor densidade radicular e ao carreamento do nutriente (COSTA *et al.*, 2014).

Na palma forrageira ‘Orelha de Elefante Mexicana’ foram formados dois Componentes Principais (CP₁ e CP₂) com autovalores maiores que um, com variância total acumulada de 87,01% no experimento. Os teores de N, P, Ca, Na, Cl, S, B, e Fe foram combinadas para formação do CP₁ que responde por 47,73% da variância total, enquanto o CP₂ responde por 39,28% da variância remanescente e foi formado pela combinação linear dos teores de Mg, Cu, Zn e Mn (Tabela 5). Os teores de K não foram relacionados nos CP₁ e CP₂.

Os teores absolutos de macro e micronutrientes da palma ‘Orelha de Elefante Mexicana’ obtidos em cada nível de reposição da ETo estão relacionados na Tabela 5. Independente do nível de reposição da ETo, a ordem de grandeza de acúmulo de macronutrientes em cladódios da palma ‘Orelha de Elefante Mexicana’, em g kg⁻¹, foi: Ca (45,24±5,60) > Mg (21,77±1,41) > N (18,17±2,48) > K (18,15±2,48) > P (1,90±0,31) > S (0,07±0,03); e para micronutrientes, em mg kg⁻¹, a ordem foi: Cl (65508,00±7943,64) > Na (2906,00±1309,76) > Mn (995,66±163,35) > Fe (108,08±34,41) > B (105,41±19,56) > Zn (22,65±3,17) > Cu (13,44±2,56).

Tabela 5. Autovalores, variância, coeficientes de correlação entre Componentes Principais e variáveis e médias de tratamentos na palma forrageira variedade ‘Orelha de Elefante Mexicana’. Campina Grande, PB, 2018.

CPs	λ	$\sigma^2\%$	Cargas Fatoriais (r)											
			N ¹	P ¹	Ca ¹	Mg ¹	Na ¹	Cl ¹	S ²	B ²	Cu ²	Zn ²	Fe ²	Mn ²
CP ₁	5,73	47,73	0,74*	0,84*	0,80*	0,19	-0,77*	-0,91*	0,78*	-0,96*	-0,57	0,11	-0,70*	0,13
CP ₂	4,71	39,28	0,40	0,43	-0,57	0,97*	0,63	0,04	0,52	0,01	0,68*	0,98*	-0,20	-0,98*
ETo			Médias											
25%			23,80	0,22	44,50	23,98	3,22	57,24	93,44	95,32	15,96	26,79	126,10	803,63
50%			18,03	0,17	49,50	21,74	2,13	61,48	63,76	102,69	12,74	22,33	104,73	1058,23
75%			17,68	0,16	49,50	19,55	1,73	63,60	35,38	112,33	11,94	17,10	167,16	1262,35
100%			17,50	0,18	48,00	21,53	2,12	64,66	98,60	78,88	9,86	22,99	81,13	1004,77
125%			13,83	0,13	34,65	22,05	5,33	80,56	40,54	137,84	16,72	24,06	156,28	849,32

CPs: componentes principais; λ : autovalores; $\sigma^2\%$: porção da variância explicada; 1: médias em g kg⁻¹; 2: médias em mg kg⁻¹; ETo: evapotranspiração de referência; e *: variáveis consideradas no CP; r = 0,10-0,30 (fraca); r = 0,40-0,60 (moderada); r = 0,70-1,00 (forte).

Verificou-se que, no CP₁, a palma forrageira OR teve maior acúmulo relativo de N, P e S com 25% de reposição da ETo. Ainda no CP₁, a variedade OR obteve maior teor de Ca com 50% de reposição da ETo; teores mais expressivos de Na, Cl e B com 125% da ETo; e maior acúmulo de Fe quando 75% da ETo foi repostada. No CP₂, a variedade de palma OR teve maior acúmulo relativo de Mg e Zn com a reposição de

25% da ETo, enquanto que maiores teores relativos de Mn e Cu foram obtidos em plantas submetidas a 75% e 125% da ETo, respectivamente (Figura 4 A e B).

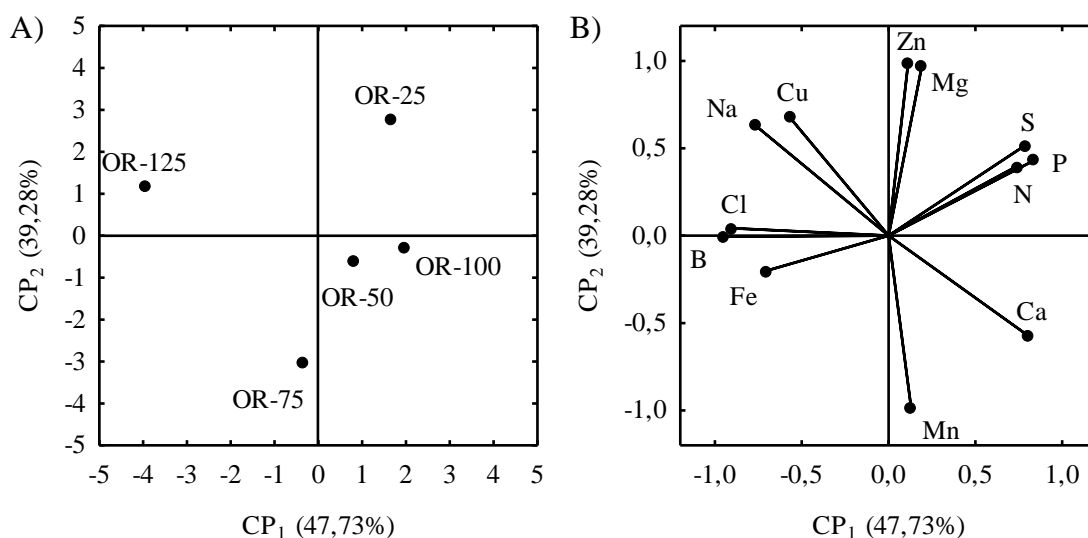


Figura 4. Projeção bidimensional (Biplot) dos níveis de reposição da ETo (A) e correlação de variáveis (B) da palma forrageira ‘Orelha de Elefante Mexicana’ nos dois primeiros Componentes Principais (CP₁ e CP₂). Campina Grande, PB, 2018.

Na literatura pertinente, os teores clássicos de macronutrientes da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill), espécie da variedade ‘Orelha de Elefante Mexicana’, em g kg⁻¹ de matéria seca, são: N (6,7-20,6), P (0,8-4,7), K (23,0-33,4), Ca (14,9-42,0), Mg (5,9-14,0) e S (1,7-6,1); e os teores clássicos de micronutrientes, em mg kg⁻¹ de matéria seca, são: Fe (77,0-128,0), Zn (62,0-108,6), Mn (182,0-686,9), Cu (4,0-12,2), B (15,8-22,4) e Na (40,2-135,9) (MENEZES *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2012).

Os teores de Ca, Mg, Na, B, Cu e Mn da palma ‘Orelha de Elefante Mexicana’ foram superiores aos relatados na literatura, exceto os teores de Ca sob reposição de 125% da ETo e de Cu sob reposições de 75 e 100% da ETo que se encontram dentro da faixa de concentração relatada para a espécie. Os teores de N e de Fe estão dentro das concentrações relatadas na literatura, exceto sob reposição de 25% da ETo em que o acúmulo de N é superior e sob reposições de 75 e 100% em que os teores de Fe são superiores. Os teores de P, K, S e Zn estão abaixo da faixa de concentração.

Os elevados teores de Ca, Mg, Na, B, Cu e Mn podem estar relacionados à maior disponibilidade de água e nitrogênio no solo devidos à fertirrigação, situação que promove o desenvolvimento de mecanismos de adaptação para melhor absorção de água

e nutrientes em regiões áridas e semiáridas (EDVAN *et al.*, 2013). É possível que tenha ocorrido mudança na estrutura radicular, sobretudo aumento da superfície de absorção, notadamente pela inibição do crescimento da raiz principal e estímulo do crescimento e densidade de raízes laterais e pelos radiculares, além do aumento de seu diâmetro e condutividade hidráulica (MORGAN & CONNOLLY, 2013; XIA *et al.*, 2018).

Além das alterações radiculares, o maior aporte hídrico e de nitrogênio pode ter aumentado o potencial hídrico e a pressão de turgor celular, refletindo-se em maior concentração de solutos orgânicos no citosol e nas matrizes extracelulares, condição que leva ao ajuste osmótico e pode ter influenciado o fluxo transpiracional e consequente influxo de água e nutrientes nas plantas (MERWAD *et al.*, 2018). De fato, o acúmulo de K, Cl, Na e nitrato (NO_3^-) pode ter estimulado o alongamento e divisão celular na região do meristema apical de raízes laterais, convergindo para maior crescimento e exploração do perfil de solo e consequente interceptação e absorção radicular de nutrientes pela palma ‘Orelha de Elefante Mexicana’ (TAIZ *et al.*, 2017).

A redução dos teores de fósforo verificada na medida em que os níveis de reposição da ETo foram aumentados provavelmente esteja relacionada à lixiviação provocada pela maior dissociação dos grânulos fosfatados e movimento de percolação da água por fluxo em massa, condições que possibilitaram a movimentação do fosfato entre as partículas de solo para regiões mais profundas (HARGER *et al.*, 2007; GONÇALVES *et al.*, 2008; COSTA *et al.*, 2014).

Em outra perspectiva, é possível que tenha ocorrido adsorção e precipitação do P às partículas de solo e à matéria orgânica, notadamente devido às ligações eletrostáticas ou covalentes e consequente formação de compostos insolúveis, o que torna o elemento indisponível para as plantas (CORRÊA *et al.*, 2011). De fato, o incremento do aporte hídrico no solo pode ter proporcionado maior acúmulo de biomassa de plantas espontâneas e consequente aumento de matéria orgânica, o que favorece maior adsorção e complexação de P aos óxidos de Fe, Al e minerais de argila, devido à ocupação dos sítios de adsorção (ABBOUD *et al.*, 2018).

De acordo com Silva (2017), o aumento dos níveis de reposição da ETo associado à maior disponibilidade de N via fertirrigação promoveu maior acúmulo de biomassa de cladódios da palma forrageira ‘Orelha de Elefante Mexicana’. É possível que estes aumentos de água e biomassa tenham favorecido maior remobilização de P

nos tecidos dos cladódios, devido à elevada mobilidade de P na planta (LUENGO *et al.*, 2018), o que reflete maior efeito de diluição do nutriente nos tecidos parenquimáticos da palma forrageira (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2006).

Os baixos teores de K registrados na palma ‘Orelha de Elefante Mexicana’, possivelmente, se devem à lixiviação do nutriente para zonas mais profundas e não exploradas pelo sistema radicular. Esta informação é ratificada por Albuquerque *et al.* (2011) ao mencionarem que o K não absorvido é lixiviado, sendo este processo responsável por até 10% das perdas de K na rizosfera. Ressalte-se que a mobilidade de íons K^+ no solo ocorre prioritariamente por difusão, de modo que a quantidade de K que chega às raízes por fluxo de massa é muito menor que a taxa de absorção, justificando os baixos teores registrados mesmo em cultivo irrigado (NEVES *et al.*, 2009).

Em outro aspecto, é possível que o excesso de sais na água de irrigação (C_3S_1), além de limitar a disponibilidade de água, tenha causado distúrbios nutricionais na planta, notadamente por impedir a absorção de K, o que converge para desbalanceamento nutricional (ALBUQUERQUE *et al.* 2011). Neste contexto, pode-se inferir que tenha ocorrido substituição de K por Na, haja vista o elevado teor de deste último constatado nos tecidos dos cladódios. De fato, o Na pode substituir parcialmente o K atuando na ativação enzimática da ATPase, na osmorregulação, na absorção de macronutrientes, na permeabilidade das células, na síntese de carboidratos, na abertura e fechamento estomático e no transporte de gás carbônico (INOCENCIO *et al.*, 2014).

É possível que os baixos teores de S nos cladódios se devam ao excesso de água ter carregado o nutriente para camadas mais profundas, notadamente devido à sua elevada mobilidade no solo. Isso ocorre em função dos elevados teores de Na advindos água de irrigação que podem ter sido complexados ao sulfato (SO_4^{2-}), o que pode ser confirmado pelo aumento da hidrólise de íons solúveis como o Ca^{2+} , Mg^{2+} , notadamente pelos elevados teores destes nutrientes encontrados nos cladódios (GIORDANO & RAVEN, 2014; ARAUJO *et al.*, 2015). Já os baixos teores de Zn nos cladódios podem ter ocorrido devido ao maior aporte de matéria orgânica decorrente do aumento de plantas espontâneas e consequente adsorção deste nutriente na fração orgânica ou em óxidos de Fe e Al na matriz do solo (SMANHOTTO *et al.*, 2010).

6.1.4. Conclusões

A composição mineral das variedades de palma forrageira ‘Baiana’, ‘Miúda’ e ‘Orelha de Elefante Mexicana’ pode ser otimizada a partir do manejo de água no solo, de modo a ser obter balanço nutricional adequado para maior produtividade.

O nível de reposição de 75% da ETo proporcionou maior equilíbrio entre os nutrientes nos cladódios das variedades de palma forrageira ‘Baiana’ e ‘Miúda’. A variedade ‘Orelha de Elefante Mexicana’ teve melhor balanço nutricional com os níveis de reposição de 100 e 125% da ETo.

Os níveis de reposição de água no solo de 100 e 125% da ETo promovem elevado acúmulo de íons Na^+ e Cl^- nos cladódios das variedades de palma forrageira estudadas.

Dentre as variedades, a ‘Orelha de Elefante Mexicana’ teve maior capacidade de acúmulo de nutrientes, seguida da ‘Baiana’ e da ‘Miúda’, respectivamente, nas condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro.

6.1.5. Literatura Citada

ABBOUD, F. Y.; FAVARETTO, N.; MOTTA, A. C. V.; BARTH, G.; GOULARTE, G. D. Phosphorus mobility and degree of saturation in oxisol under no-tillage after long-term dairy liquid manure application. **Soil & Tillage Research**, v. 177, p. 45-53, 2018.

ALBUQUERQUE, F. da S.; SILVA, E. F. de F. e; SOUZA, A. E. R. de; ROLIM, M. M. Lixiviação de potássio em um cultivo de pimentão sob lâminas de irrigação e doses de potássio. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 135-144, 2011.

ALENCAR, B. R. A.; DUTRA, E. D.; SAMPAIO, E. V. de S. B.; MENEZES, R. S. C.; MORAIS JR, M. A. Enzymatic hydrolysis of cactus pear varieties with high solids loading for bioethanol production. **Bioresource Technology**, v. 250, p. 273-280, 2018.

ARAÚJO, J. L.; SEVERO, P. J. da S.; LUCENA, F. T. C.; VERIATO, R. G.; PAIVA, K. F. de. Enxofre elementar ou sulfato de cálcio para remediação de solos salino-sódicos? **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 388-396, 2015.

ARIAS-MORENO, D. M.; JIMÉNEZ-BREMONT, J. F.; MARURI-LÓPEZ, I.; DELGADO-SÁNCHEZ, P. Effects of catalase on chloroplast arrangement in *Opuntia streptacantha* chlorenchyma cells under salt stress. **Scientific Reports**, v. 7, n. 8656, 2017.

- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; STENZEL, N. M. C. Resposta da acerola à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em solo com diferentes níveis de fósforo. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 166-175, 2011.
- BATISTA, A. M. V.; MUSTAFA, A. F.; McALLISTER, T.; WANG, Y.; SOITA, H.; MCKINNON, J. J. Effects of variety on chemical composition, in situ nutrient disappearance and in vitro gas production of spineless cacti. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, n. 3, p. 440-445, 2003.
- BAYAR, N.; FRIJI, M.; KAMMOUN, R. Optimization of enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal. **Food Chemistry**, v. 241, p. 127-134, 2018.
- CITLALI, F. G.; DESGARENNES, D.; FLORES-NÚÑEZ, V. M.; PARTIDA-MARTÍNEZ, L. P. The Microbiome of Desert CAM Plants: Lessons From Amplicon Sequencing and Metagenomics. In: NAGARAJAN, M. (Ed.). **Metagenomics: Perspectives, Methods, and Applications**. Amsterdã: Elsevier, 2018. 231-254p.
- CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; ROCHA, A. T. Adsorção de fósforo em dez solos do Estado de Pernambuco e suas relações com parâmetros físicos e químicos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 153-159, 2011.
- COSTA, L. A. de M.; COSTA, M. S. S. de M.; PEREIRA, D. C. Lixiviação do fósforo do solo por meio de adubos fosfatados e palhas de plantas de cobertura. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 4, n. 1, p. 23-37, 2014.
- DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F. dos; LIRA, M. de A.; SANTOS, D. C. dos; FARIAS, I.; LIMA, L. E.; FERREIRA, R. L. C. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., under different N and P fertilization and plant population in North-east Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 67, n. 3, p. 357-372, 2006.
- EDVAN, R. L.; FERNADES, P. D.; CARNEIRO, M. S. de S.; NEDER, D. G.; ARAUJO, J. S.; ANDRADE, A. P. de; SOUTO FILHO, L. T. Acúmulo de biomassa e crescimento radicular da palma forrageira em diferentes épocas de colheita. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 11, n. 4, p. 373-381, 2013.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. – Brasília: Embrapa informação Tecnológica, 2009. 627p.

ERIKSEN, J; OLESEN, J. E; ASKEGAARD, M. Sulphate leaching and sulphur balances of an organic cereal crop rotation on three Danish soils. **European Journal of Agronomy**, v. 17, p. 1-9, 2002.

FROTA, M. N. L. da; CARNEIRO, M. S. de S.; CARVALHO, G. M. C.; ARAÚJO NETO, R. B. de. **Palma forrageira na alimentação animal**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2015. 47p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 233).

GERMANO, R. H.; BARBOSA, H. P.; COSTA, R. G.; MEDEIROS, A. N. Avaliação da composição química e mineral de seis cactáceas do semi-árido paraibano. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 28, 1991, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1991. p.3.

GIORDANO, M.; RAVEN, J. A. Nitrogen and sulfur assimilation in plants and algae. **Aquatic Botany**, v. 118, p. 45-61, 2014.

GONÇALVES, G. K.; SOUSA, R. O.; VAHL, L. C.; BORTOLON, L. Solubilização dos fosfatos naturais patos de minas e arad em dois solos alagados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2157-2164, 2008.

GOVAERTS, B.; SAYRE, K. D.; LICHTER, K.; DENDOOVEN, L.; DECKERS, J. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. **Plant and Soil**, v. 291, p. 39-54, 2007.

HAIR, F. J.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. Tradução Adonai Schlup Sant'Anna. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HARGER, N.; BRITO, O. R.; RALISCH, R.; ORTIZ, F. R.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 1, p. 39-44, 2007.

INOCENCIO, M. F.; CARVALHO, J. G. de; FURTINI NETO, A. E. Potássio, sódio e crescimento inicial de espécies florestais sob substituição de potássio por sódio. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 113-123, 2014.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150 cm x 200 cm.

LIMA, G. S. de; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A.; PINHEIRO, F. W. A.; DIAS, A. S. Crescimento, teor de sódio, cloro e relação iônica na mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 2, p. 212-223, 2015.

LUENGO, R. de F. A.; BUTRUILLE, N. M. dos S.; MELO, R. A. de C. e; SILVA, J. da; MALDONADE, I. R.; COSTA JÚNIOR, A. D. Determinação de minerais no solo e análise de folhas de couve produzida em Brasília. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. 1-9, 2018.

LUNA, N. R. de S.; ANDRADE, E. M. de; CRISÓSTOMO, L. A.; MEIRELES, A. C. M.; AQUINO, D. do N. Dinâmica do nitrato e cloreto no solo e a qualidade das águas subterrâneas do distrito de irrigação Baixo Acaraú, CE. **Revista Agro@mbiente Online**, v. 7, n. 1, p. 53-62, 2013.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed atual e ampliado. Viçosa: UFV, 2012. 355p.

MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S. P.; MOURTHÉ, M. H. F.; BRAZ, T. G. S.; PIRES NETO, O. S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Cadernos de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.

MARTINS, M. A.; TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D. A.; ALVALÁ, R. C. S.; GIAROLLA, A.; GAROFOLO, L. L.; SIQUEIRA JÚNIOR, J. L.; PAOLICCHI, L. T. L. C.; PINTO, G. L. N. Improving drought management in the Brazilian semiarid through crop forecasting. **Agricultural Systems**, v. 160, p. 21-30, 2018.

MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. 2. ed. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. 258p.

MERWAD, A. R. M. A.; DESOKY, E. S. M.; RADY, M. M. Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. **Scientia Horticulturae**, v. 228, p. 132-144, 2018.

MOLINA-NAVARRO, E.; ANDERSEN, H. E.; NIELSEN, A.; THODSEN, H.; TROLLE, D. Quantifying the combined effects of land use and climate changes on stream flow and nutrient loads: A modelling approach in the Odense Fjord catchment (Denmark). **Science of The Total Environment**, v. 621, p. 253-264, 2018.

MORGAN, J. B.; CONNOLLY, E. L. Plant-Soil Interactions: Nutrient Uptake. **Nature Education Knowledge**, v. 4, n. 8, 2013.

NEVES, L. S. das; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses de cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 25-32, 2009.

OLIVEIRA, F. T. de; SOUTO, J. S.; SILVA, R. P. da; ANDRADE FILHO, F. C. de; PEREIRA JÚNIOR, E. B. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 4, p. 27-37, 2010.

ÖSTERHOLM, P.; ASTRÖM, M. Quantification of current and future leaching of sulfur and metals from Boreal acids sulfate soils, Western Finland. **Australian Journal of Soil Research**, v. 42, p. 547-551, 2004.

PRABNAKORN, S.; MASKEY, S.; SURYADI, F. X.; FRAITURE, C. de. Rice yield in response to climate trends and drought index in the Mun River Basin, Thailand. **Science of The Total Environment**, v. 621, p. 108-119, 2018.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D.C.: U.S. Salinity Laboratory, 1954. 160p.

SANTIAGO, E. D.; DOMÍNGUEZ-FERNÁNDEZ, M.; CID, C.; PEÑA, M. P. D. Impact of cooking process on nutritional composition and antioxidants of cactus cladodes (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 240, p. 1055-1062, 2018.

SANTOS, D. C. dos; FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; SANTOS, M. V. F. dos; ARRUDA, G. P. de; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. de. **Manejo e utilização da**

palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco. Recife: IPA, 2006. 48p. (IPA. Documentos, 30).

SANTOS, D. R. dos; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SANTOS, R. P. R. Avaliação da taxa de colonização por fungos micorrízicos arbusculares em solo em consórcio com resíduos de corte de granito e macrófitas aquáticas. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 690-703, 2018.

SILVA, J. A. da; BONOMO, P.; DONATO, S. L. R.; PIRES, A. J. V.; ROSA, R. C. C.; DONATO, P. E. R. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 866-875, 2012.

SILVA, P. F. da. **Crescimento e produtividade de palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada.** 2017. 79 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2017.

SMANHOTTO, A.; SOUSA, A. de P.; SAMPAIO, S. C.; NÓBREGA, L. H. P.; PRIOR, M. Cobre e zinco no material percolado e no solo com a aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 2, p. 346-357, 2010.

SNYMAN, H. A. A greenhouse study on root dynamics of cactus pears, *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia robusta*. **Journal of Arid Environments**, v. 65, n. 4, p. 529-542, 2006.

SOUSA, A. P. F. de. **Palma forrageira adubada e irrigada no Sertão Paraibano.** 2015. 54 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB, 2015.

SOUZA, T. C. de; SANTOS, M. V. F. dos; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. de A.; SANTOS, D. C. dos; CUNHA, M. V. da; LIMA, L. E. de; SILVA, R. R. da. Productivity and nutrient concentration in spineless cactus under different fertilizations

and plant densities. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, n. 4, p. 555-560, 2017.

STATSOFT, INC. **Programa computacional Statistica 7.0**. E. A. U. 2004.

SUASSUNA, P. **Lucratividade da Cultura da Palma Forrageira na Paraíba**. 1993. Disponível em:< www.joaosuassuna.hpg.ig.com.br/sistprod.htm - 5k ->. Acesso em 05 de dezembro de 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

VOLPE, M.; GOLDFARB, J. L.; FIORI, L. Hydrothermal carbonization of *Opuntia ficus-indica* cladodes: Role of process parameters on hydrochar properties. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 310-318, 2018.

WILCOX, C. S.; FERGUSON, J. W.; FERNANDEZ, G. C. J.; NOWAK, R. S. Fine root growth dynamics of four Mojave Desert shrubs as related to soil moisture and microsite. **Journal of Arid Environments**, v. 56, n. 1, p. 129-148, 2004.

XIA, C.; CHRISTENSEN, M. J.; ZHANG, X.; NAN, Z. Effect of *Epichloë gansuensis* endophyte and transgenerational effects on the water use efficiency, nutrient and biomass accumulation of *Achnatherum inebrians* under soil water deficit. **Plant and Soil**, v. 424, n. 1-2, p. 555-571, 2018.

XUE, J.; HUO, Z.; WANG, F.; KANG, S.; HUANG, G. Untangling the effects of shallow groundwater and deficit irrigation on irrigation water productivity in arid region: New conceptual model. **Science of The Total Environment**, v. 620, p. 1170-1182, 2018.

7. CAPÍTULO 3

7.1. Composição Bromatológica de Variedades de Palma Forrageira sob Níveis de Reposição Hídrica e Fertirrigação com Nitrogênio

Resumo: As limitações no regime hídrico do semiárido têm impulsionado o cultivo de palma forrageira que, embora adaptada à região, apresenta característica bromatológica variada em cultivo sob irrigação. Objetivou-se avaliar a composição bromatológica de variedades de palma forrageira sob níveis de reposição hídrica e fertirrigação com nitrogênio. O experimento de campo foi conduzido no município de Santa Luzia, PB, em blocos casualizados, instalado em esquema fatorial 3x5, sendo três variedades de palma forrageira (Baiana, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana) e cinco níveis de reposição da evapotranspiração de referência (25, 50, 75, 100 e 125% da ETo), com três repetições. Foram avaliados os teores de matéria seca, mineral, proteína bruta, extrato etéreo, fibras insolúveis em detergentes neutro e ácido, carboidratos totais e não fibrosos. Os dados foram submetidos às análises de variância, regressão, comparações de médias e Componentes Principais. Verificou-se que a variedade ‘Baiana’ obteve maiores teores de proteína bruta e fibras insolúveis em detergente ácido com 85% de reposição da ETo. A variedade ‘Miúda’ acumulou maior teor de matéria seca e fibras insolúveis em detergente neutro, havendo necessidade de reposição de 60% da ETo. A variedade ‘Orelha de Elefante Mexicana’ teve maior acúmulo de matéria mineral e produção de carboidratos não fibrosos, sendo recomendada reposição de 90% da ETo para seu máximo desempenho.

Palavras-chave: Cactaceae. *Opuntia. Nopalea*. Sequeiro. Demanda hídrica. Irrigação.

Bromatological composition of Forage Cactus Varieties under Water Replacement Levels and Nitrogen Fertigation

Abstract: Limitations in the semi-arid water regime have promoted the cultivation of forage cactus that, although adapted to the region, presents a varied bromatological feature in cultivation under water stress. The objective was to evaluate the bromatological composition of forage cactus varieties under water replenishment levels and nitrogen fertigation. The experiment was conducted in Santa Luzia, PB, Brazil in randomized blocks, installed in a 3x5 factorial scheme, being three forage cactus

varieties (Baiana, Miúda and Orelha de Elefante Mexicana) and five levels of reference evapotranspiration replacement (25, 50, 75, 100 and 125% of ETo) with three replicates. The contents of dry matter, mineral, crude protein, ethereal extract, insoluble fibers in neutral and acid detergents, total and non-fibrous carbohydrates were evaluated. Data were submitted to analysis of variance, regression, means comparisons and Principal Components. It was verified that the ‘Baiana’ variety obtained higher levels of crude protein and insoluble fibers in acid detergent with 85% ETo replacement. The ‘Miúda’ variety accumulated higher content of dry matter and insoluble fibers in neutral detergent, requiring a 60% replacement of ETo. The ‘Orelha de Elefante Mexicana’ variety had higher accumulation of mineral matter and production of non-fibrous carbohydrates, being recommended to replace 90% of the ETo for its higher performance.

Keywords: Cactaceae. *Opuntia*. *Nopalea*. Rainfed. Water demand. Irrigation.

7.1.1. Introdução

A atual conjuntura climática global tem gerado incerteza quanto à manutenção dos processos biológicos, notadamente aqueles relacionados aos recursos hídricos (KUNDZEWICZ *et al.*, 2018), como por exemplo a atividade fotossintética das culturas em ambientes com restrição de água e elevada concentração de CO₂ (LI *et al.*, 2018), além de processos importantes como ciclo do carbono, respiração e assimilação de CO₂ no solo, mudanças de temperatura e precipitação pluviométrica, o que influencia diretamente a produção primária das culturas (DINTWE & OKIN, 2018).

O Brasil é caracterizado pela diversidade de biomas e climas, destacando-se o bioma Caatinga com extensão de 982,563 km² ou cerca de 11% da massa terrestre do país, situada majoritariamente na região Nordeste do país. O bioma é caracterizado pela vegetação xerofílica, como as espécies da família Cactaceae, adaptadas às secas recorrentes (SÁNCHEZ *et al.*, 2018). A região Nordeste do Brasil possui baixa pluviosidade e má distribuição espacial e temporal das chuvas, condicionando as culturas aos estresses abióticos, podendo reduzir a produtividade (MARTINS *et al.*, 2018).

O cenário supracitado evidencia a necessidade de adoção de cultivos com vegetais ecoadaptados às condições climáticas proeminentes da Região, notadamente

devido ao metabolismo ácido crassuláceo (CAM) que lhes confere elevada eficiência do uso da água, destacando-se os gêneros de palma forrageira, e.g. *Opuntia* e *Nopalea*, que são amplamente utilizadas, no segmento industrial para extração de pectina (BAYAR *et al.*, 2018), produção de bioetanol, forragem para os rebanhos e alimento humano (ALENCAR *et al.*, 2018).

Embora a palma forrageira seja adaptada às condições de baixa disponibilidade hídrica, geralmente são cultivadas no semiárido nordestino em condições de sequeiro e sua produtividade pode ser expressivamente incrementada em cultivos irrigados, ampliando a oferta de matéria prima para diversos segmentos (VOLPE *et al.*, 2018). Sua importância na produção de forragem e alimentação humana justifica-se pela composição bromatológica, constituída de minerais, gorduras, carboidratos, fibras, energia e ácidos graxos, além de compostos antioxidantes, apesar de possuir baixos teores de proteínas (SANTIAGO *et al.*, 2018).

Em virtude do expressivo ganho de produtividade da palma forrageira em cultivo irrigado, objetivou-se analisar a composição bromatológica de variedades das espécies de palma forrageira, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. e *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm Dyck, sob níveis de reposição da evapotranspiração e nitrogênio em região de semiárido brasileiro.

7.1.2. Material e Métodos

7.1.2.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no período compreendido entre maio de 2015 e dezembro de 2016, em condições de campo, localizado na fazenda Poço Redondo, município de Santa Luzia, microrregião do Seridó ocidental paraibano, latitude 06° 52' 27'' S, longitude 36° 56' 00'' WGr, e altitude de 299 m.

O clima da região é do tipo Bsh-Tropical, quente seco, semiárido com chuvas de verão (KÖPPEN; GEIGER, 1928). Anualmente, a média de precipitação pluviométrica da região é de 500 mm, com temperatura mínima de 22,3 °C, média de 27,6 °C, máxima de 33,0 °C e umidade relativa do ar variando entre 50 e 70%. Durante a condução do experimento, as variáveis meteorológicas foram monitoradas e expressas em climograma (Figura 1).

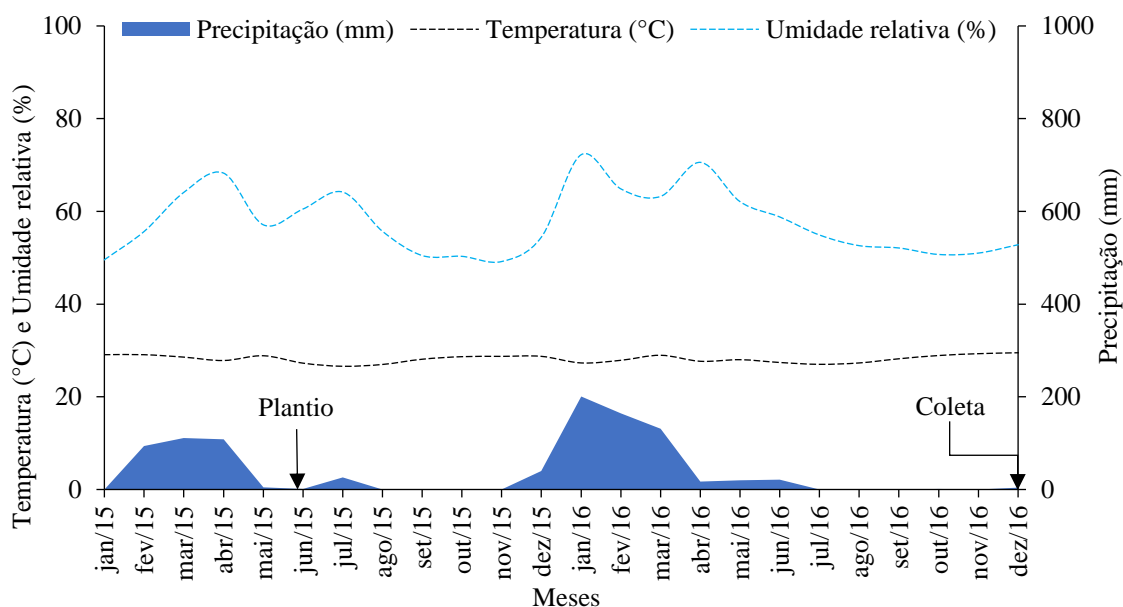


Figura 1. Climograma das variáveis meteorológicas registradas durante o período de condução do experimento. Santa Luzia, PB, 2015/2016.

O solo da área experimental foi classificado, conforme a textura, como Franco-arenoso. Para tanto, foram coletadas amostras simples nas profundidades de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, as quais foram homogeneizadas, acondicionadas em sacos plásticos e transportadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) para caracterização química e físico-hídrica (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Caracterização química do complexo sortivo e extrato de saturação do solo da área experimental em duas profundidades. Santa Luzia, PB, 2018.

Profundidade (m)	Complexo Sortivo											
	pH ¹	MO	N	P	K	Ca	Mg	Na	H ⁺	Al ³⁺	SB	CTC
	.....%		.....cmol _c dm ⁻³									
0,00-0,20	5,83	0,38	0,02	4,75	0,60	4,18	2,48	0,17	0,18	0,00	7,43	7,61
0,20-0,40	6,15	0,22	0,01	4,78	0,63	4,65	2,86	0,51	0,15	0,00	8,65	8,80
Profundidade (m)	Extrato de Saturação											
	pH ¹	Cl	CO ₃	HCO ₃	Ca	Mg	K	Na	CEes		RAS	
	.....cmol _c L ⁻¹								dS m ⁻¹			
0,00-0,20	5,44	7,50	0,00	9,90	5,12	1,50	3,70	2,37	1,14			1,30
0,20-0,40	5,70	19,50	0,00	9,90	9,87	3,00	14,08	5,96	2,86			2,35

¹: pH em água; MO: matéria orgânica; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; CEes: condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; e RAS: razão de adsorção de sódio. Fonte: Silva (2017).

Tabela 2. Caracterização físico-hídrica do solo da área experimental em duas profundidades. Santa Luzia, PB, 2018.

Profundidade (m)	Areia	Silte	Argila	n	DS	DP	U-0,1	U-0,3	U-1,0	U-5,0	U-10,0	U-15,0	AD
	.....%.....				.....g cm ⁻³%.....						
0,00-0,20	74,83	17,28	7,89	44,23	1,47	1,89	18,56	12,10	9,34	5,15	4,88	4,44	7,66
0,20-0,40	67,71	18,30	13,99	46,48	1,39	2,60	20,14	14,79	10,28	6,29	6,01	5,39	9,40

n: porosidade, DS: densidade do solo, DP: densidade de partícula, U: umidade do solo entre 0,1 e 15 atmosfera e AD: água disponível no solo. Fonte: Silva (2017).

A água utilizada para irrigação durante o experimento foi monitorada quanto à composição química. Para tanto, a cada três meses foram coletadas amostras de água proveniente de um poço Amazona distante 80 m da área experimental. As amostras foram transportadas ao LIS/CTRN/UFCG, sendo obtidos os seguintes dados médios de composição química da água: pH = 7,48, Ca = 2,21 meq L⁻¹, Mg = 2,98 meq L⁻¹, Na = 8,44 meq L⁻¹, K = 0,56 meq L⁻¹, CO₃ = 0,64 meq L⁻¹, HCO₃ = 3,25 meq L⁻¹, Cl = 11,47 meq L⁻¹, sulfatos = presentes, razão de adsorção de sódio - RAS = 5,24 meq L⁻¹ e condutividade elétrica - CEa = 1,37 dS m⁻¹, sendo classificada como C₃S₁ (RICHARDS, 1954).

7.1.2.2. Delineamento experimental

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 3x5, onde o primeiro fator foi constituído de três variedades de palma forrageira (BA = Baiana; MI = Miúda e OR = Orelha de Elefante Mexicana) e o segundo fator constituído de cinco níveis de reposição da água evapotranspirada pela cultura (25, 50, 75, 100 e 125% da ETo), com três repetições, totalizando 45 unidades experimentais.

Cada parcela possuía área de 14,4 m², constituídas de uma fileira dupla com espaçamento de 0,4 m entre linhas; 2,0 m entre fileiras duplas e 0,25 m entre plantas com 5 m de comprimento e 1 m de bordadura, adotando-se área útil de 0,6 m² na parcela, totalizando 648 m². A partir da análise de fertilidade do solo, foi realizada adubação orgânica com 1 kg de esterco bovino por metro linear. Seguindo recomendação de Santos *et al.* (2006), também foi realizada adubação fosfatada com 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e potássica com 65 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando-se de 200 kg ha⁻¹ de monoamônio fosfato (MAP) e 108,33 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl) como fontes destes nutrientes. A adubação nitrogenada foi realizada utilizando-se de 900 kg ha⁻¹ de

nitrogênio (N), utilizando-se de 2.000 kg ha⁻¹ de ureia como fonte de N, disponibilizada via fertirrigação mensal, parcelada em 18 meses (SILVA, 2017).

7.1.2.3. Propágulos vegetativos e plantio

Os propágulos vegetativos foram obtidos de produtores rurais do município de Santarém, PB, em parceria com o Instituto Nacional do Semiárido (INSA). Procedeu-se seleção deste material, optando-se por cladódios uniformes, isentos de pragas e doenças. Após a triagem, os cladódios foram mantidos em ambiente aberto com luminosidade reduzida durante sete dias, notadamente para desidratação parcial e cicatrização das lesões provocadas por ocasião do corte (SILVA, 2017).

O plantio dos cladódios foi realizado no dia 29 de maio de 2015, seguindo a recomendação de Suassuna (1993). Para tanto, o material propagativo foi disposto nos sulcos de plantio, com a face do cladódio voltada para o nascer do sol, com inclinação de 45° e 50% do cladódio enterrado em alinhamento bilateral.

7.1.2.4. Aplicação de tratamentos e tratos culturais

Para reposição dos níveis de ETo, utilizou-se de um sistema de irrigação localizado do tipo gotejamento, constituído de tubo gotejador com espessura da parede de 0,2 mm; diâmetro interno de 16 mm; espaçamento entre gotejadores 0,20 m; pressão nominal de 68,6 kPa; vazão de 6,0 L h⁻¹ m⁻¹; equação do emissor $q = 0,46 \times p^{0,5}$, sendo a eficiência de aplicação do sistema de 0,96.

O sistema de irrigação foi pressurizado, utilizando-se de um conjunto motobomba centrífuga de 3 CV. No recalque, foi utilizado um filtro de disco de 2" e nas linhas laterais (55 m) manômetros do tipo Bourdon testados e aferidos antes das irrigações. No início da área experimental, foi instalado um hidrômetro para a contabilização da quantidade de água aplicada durante a condução do experimento.

Para cada nível de reposição da ETo, foi quantificada a lâmina líquida de irrigação (La), em mm, levando-se em consideração a fração da lâmina aplicada em cada parcela (LAP), em decimal; e a precipitação efetiva no período (P), em mm, utilizando-se da expressão: $La = (ETo * LAP) - P$. A lâmina bruta (LB) foi calculada a partir da eficiência de aplicação do sistema (Ea), em decimal, utilizando-se da expressão: $LB = La/Ea$. Os valores aplicados na irrigação, em cada tratamento,

corresponderam a 111,32, 222,65, 333,98, 445,31 e 556,64 mm, somados à precipitação durante o período chegaram a 578,22, 689,55, 800,88, 912,21 e 1.023,54 mm.

Seguindo recomendação de Mantovani *et al.* (2012), foi calculada a intensidade de aplicação do sistema de irrigação (Ia), em mm h^{-1} ; levando-se em consideração o número de emissores (Ne), dois por planta; a vazão dos emissores, $1,21 \text{ L h}^{-1}$; e a área ocupada por planta (A), $0,30 \text{ m}^2$, utilizando-se da expressão: $Ia = (Ne * q)/A$. O tempo de irrigação (Ti) necessário para reposição da ETo em cada tratamento foi calculado a partir da lâmina bruta (LB), em mm; e da intensidade de aplicação do sistema de irrigação (Ia), em mm h^{-1} , utilizando-se da expressão: $Ti = LB/Ia$.

7.1.2.5. Análise da composição bromatológica

Transcorridos 540 dias após o plantio (DAP), foram coletados três cladódios de plantas distintas na área útil de cada parcela, padronizados por peso, tamanho e estágio de desenvolvimento. As amostras foram pesadas para obtenção da massa da amostra fresca (g) e conduzidas ao Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem (LEID) do CTRN/UFCG, onde foram cortadas em pedaços, acondicionadas em sacos de papel previamente identificados e conduzidas a estufa de circulação forçada de ar a 60°C até atingirem massa constante. Posteriormente, o material foi pesado, triturado e peneirado, utilizando-se de peneiras de 1,0 mm e armazenados em recipientes hermeticamente fechados (SOUSA, 2015).

A composição bromatológica foi expressa por meio dos teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), conforme metodologia descrita por Silva & Queiroz (2002). Os carboidratos totais (CHO) foram estimados utilizando-se a expressão $\text{CHO} = 100 - (\% \text{ PB} + \% \text{ EE} + \% \text{ MM})$ descrita por Sniffen *et al.* (1992) e os carboidratos não fibrosos (CNF) pela expressão $\text{CNF} = 100 - (\% \text{ FDN} + \% \text{ PB} + \% \text{ EE} + \% \text{ MM})$ sugerida por Weiss (1999).

7.1.2.6. Análise estatística

Os dados das variáveis originais foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (SHAPIRO & WILK, 1965) e à análise de variância univariada (ANOVA) pelo teste F. Nos casos de rejeição da hipótese de nulidade para os fatores

em estudo, as médias de variedades foram comparadas pelo teste de Tukey e os níveis reposição da ETo relacionados por meio de regressão polinomial (BARBOSA & MALDONADO JÚNIOR, 2015).

Posteriormente, os dados foram padronizados, de modo a tornar a média nula ($\bar{X} = 0,00$) e variância unitária ($\sigma^2 = 1,00$). A estrutura multivariada dos resultados foi avaliada por meio da Análise exploratória de Componentes Principais (ACP), condensando-se a quantidade de informação relevante contida no conjunto de dados originais em um menor número de dimensões, resultantes de combinações lineares das variáveis originais geradas a partir dos autovalores mais elevados ($\lambda > 1,00$) na matriz de covariância, explicando uma porcentagem maior que 10% da variância total (GOVAERTS *et al.*, 2007).

Apenas variáveis com coeficiente de correlação superior a 0,5 foram mantidas na composição de cada Componente Principal (CP) (HAIR *et al.*, 2009). A partir da redução das dimensões, os dados originais das variáveis de cada CP, supondo-se normalidade, foram submetidos à análise de variância multivariada (MANOVA) pelo teste de Hotelling (1947) a 5% de probabilidade. Para o processamento das análises utilizou-se do *software* Statistica v. 7.0 (STATSOFT, 2004).

7.1.3. Resultados e Discussão

7.1.3.1. Composição bromatológica

Verificou-se diferença significativa entre as variedades de palma forrageira, níveis de reposição da evapotranspiração de referência e interação entre estes fatores ($p < 0,01$) para os constituintes bromatológicos: matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), fibras insolúveis em detergente neutro (FDN), fibras insolúveis em detergente ácido (FDA), extrato etéreo (EE), carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos totais (CHO), conforme Tabela 3.

Teores mais expressivos de MS, 11, 14 e 11%, foram estimados sob níveis de reposição de 25, 60 e 50% da ETo nas variedades BA, MI e OR, respectivamente, havendo reduções para 3, 10 e 4% com reposição de 125% da ETo (Figura 2A). Os teores de matéria mineral na matéria seca das variedades BA, MI e OR foram de 15, 11 e 20% com 25% de reposição da ETo, havendo aumentos para 26, 17 e 24% com reposições de 125, 100 e 90% da ETo, respectivamente (Figura 2B).

Tabela 3. Resumo das análises de variância dos constituintes bromatológicos de variedades de palma forrageira sob níveis de reposição da evapotranspiração de referência. Campina Grande, PB, 2018.

FV	GL	Quadrados Médios							
		MS	MM	PB	FDN	FDA	EE	CNF	CHO
Var	2	95,72**	157,70**	16,00**	393,61**	101,97**	18,06**	58,01*	150,83**
ETo	(4)	71,14**	57,10**	31,22**	241,05**	9,71**	5,12**	144,81**	50,18**
Lin	1	243,80**	225,75**	29,11**	796,44**	1,82**	12,05**	486,37**	38,04**
Qua	1	11,36**	1,93 ^{ns}	70,92**	30,99 ^{ns}	24,90**	4,51**	40,57 ^{ns}	142,49**
Bloco	2	0,02 ^{ns}	3,84 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,05 ^{ns}	9E-3 ^{ns}	6,86 ^{ns}	3,18 ^{ns}
Var x ETo	8	8,77**	24,39**	23,56**	91,45**	5,79**	6,29**	88,11**	42,38**
Resíduo	28	0,03	2,93	0,03	10,12	0,12	0,04	13,82	3,02
CV (%)		1,83	8,82	1,31	8,93	1,75	3,08	14,60	2,85
Médias das variedades (%)									
Baiana (BA)		6,56 C	20,48 A	13,72 A	33,69 B	21,15 A	5,71 C	26,41 AB	60,10 B
Miúda (MI)		11,55 A	15,79 B	11,70 C	41,44 A	21,01 A	7,87 A	23,20 B	64,64 A
Orelha (OR)		8,40 B	22,02 A	12,33 B	31,77 B	16,56 B	7,12 B	26,77 A	58,54 B
DMS		0,14	1,54	0,15	2,87	0,31	0,19	3,36	1,57

FV: fonte de variação; Var: variedade; ETo: evapotranspiração de referência; Lin: regressão linear; Qua: regressão quadrática; GL: grau de liberdade; MS: matéria seca; MM: matéria mineral; FDN: fibra insolúvel em detergente neutro; FDA: fibra insolúvel em detergente ácido; PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; CNF: carboidratos não fibrosos; CHO: carboidratos totais; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa; **: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: não significativo.

Teores mais expressivos de MS, 11, 14 e 11%, foram estimados sob níveis de reposição de 25, 60 e 50% da ETo nas variedades BA, MI e OR, respectivamente, havendo reduções para 3, 10 e 4% com reposição de 125% da ETo (Figura 2A). Os teores de matéria mineral na matéria seca das variedades BA, MI e OR foram de 15, 11 e 20% com 25% de reposição da ETo, havendo aumentos para 26, 17 e 24% com reposições de 125, 100 e 90% da ETo, respectivamente (Figura 2B).

Nas variedades BA e MI, foram quantificados teores de PB de 12 e 13% sob reposição de 25% da ETo, ocorrendo aumento para 20 e 14% sob reposições de 85 e 60% da ETo, seguindo-se de redução para 16 e 10% sob reposição de 125% da ETo. O teor de PB da variedade OR teve expressiva redução na medida em que os níveis de reposição da ETo foram aumentados, registrando-se 11 e 3% nas reposições de 25 e 125% da ETo, representando diferença percentual de 73% (Figura 2 C).

Nas variedades BA, MI e OR, sob reposição de 25% da ETo, foram registrados teores de EE de 7; 9 e 6%, respectivamente. Na medida em que os níveis de ETo foram aumentados; a variedade BA teve redução para 6% de EE com reposição de 70% da ETo, seguido de aumento para 7% quando foi reposta 125% da ETo; na MI houve redução linear para 7% de EE sob reposição de 125% da ETo; enquanto que na OR, foi

registrado aumento para 9% de EE com reposição de 69% da ETo, ocorrendo redução para 4% de EE quando 125% da ETo foi reposta (Figura 2D).

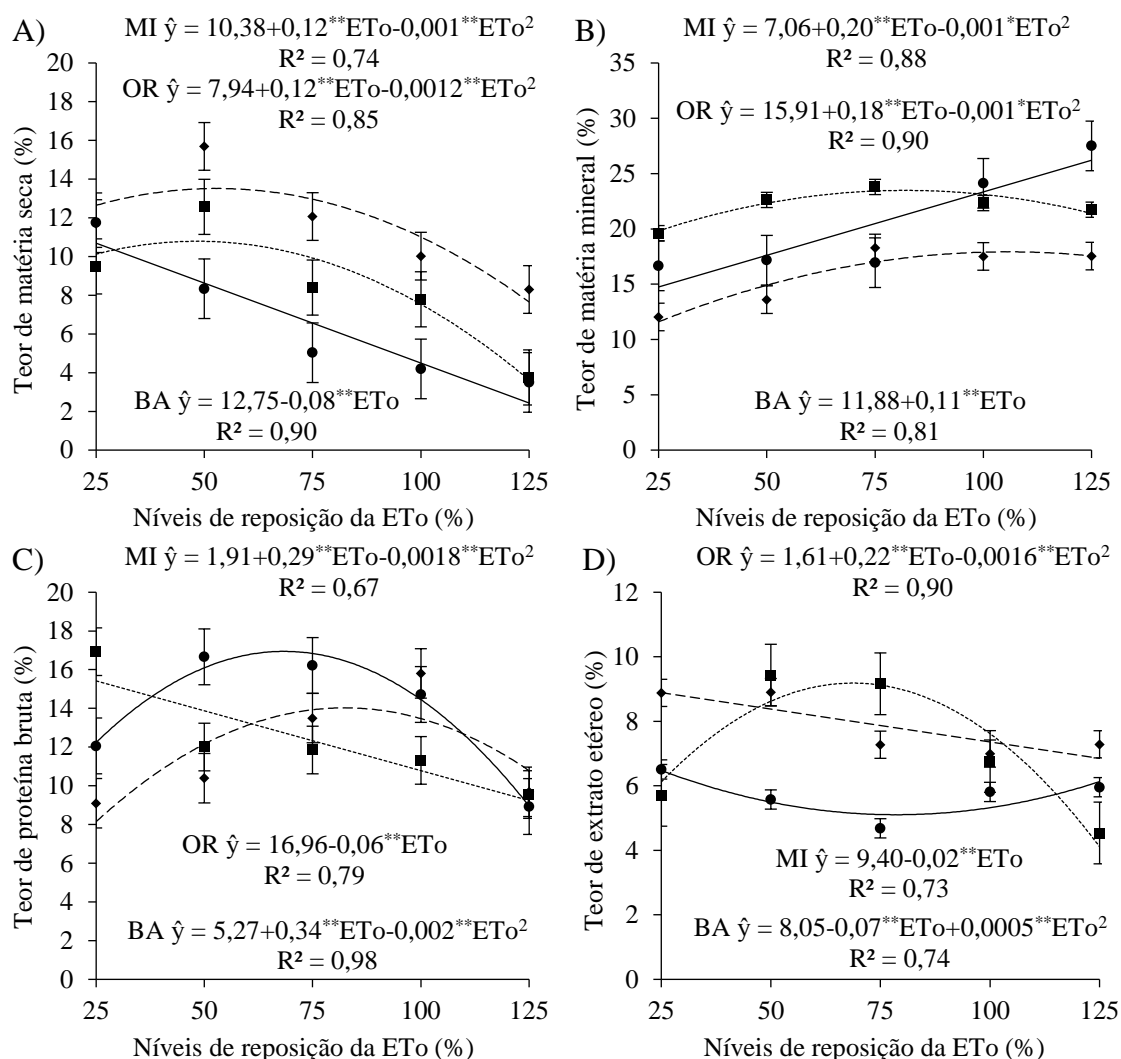


Figura 2. Teores de matéria seca (A), mineral (B), proteína bruta (C) e extrato etéreo (D) de variedades de palma forrageira sob níveis de reposição da ETo. BA: Baiana (—●—), MI: Miúda (---◆---) e OR: Orelha de Elefante Mexicana (---■---). Campina Grande, PB, 2018.

O acúmulo de matéria seca e crescimento da palma forrageira são limitados em condições de déficit hídrico, havendo necessidade de irrigação, de modo que o incremento verificado nos teores de MS se deve ao aumento dos níveis de reposição da ETo (PEREIRA *et al.*, 2015; SEIXAS *et al.*, 2015; TAIZ *et al.*, 2017). Contudo, elevada disponibilidade de água e nitrogênio promove expressivo crescimento da cultura

(SILVA, 2017; COSTA, 2018), refletindo na redução dos teores de MS e aumento dos teores de MM das variedades BA, MI e OR sob reposição de 125% da ETo.

As reduções de MS e aumentos de MM foram devidos ao elevado conteúdo hídrico (90% de água) e baixo teor de MS (10%) na constituição das plantas de palma forrageira (LIMA *et al.*, 2015; DANTAS *et al.*, 2017). Embora a reposição hídrica superior à demanda da cultura seja necessária para lixiviação de sais em excesso no solo, Brandão *et al.* (2017) mencionam que, se mal manejada, essa prática pode lixiviar nutrientes e compactar o solo, justificando a redução de MM nas variedades MI e OR sob reposição de 125% da ETo. As reduções de MS e aumentos de MM excedem os limites (7,97 a 16,56% de MS e 8,1 a 17,7% de MM) descritos na literatura (MENEZES *et al.*, 2005; FROTA *et al.*, 2015).

A palma forrageira, segundo Menezes *et al.* (2005), possui baixo teor de PB (2,55 a 6,67%). Contudo, o aumento da disponibilidade de água e nitrogênio via fertirrigação justifica os incrementos ocorridos nos teores de PB (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2006) das variedades BA e MI, notadamente devido ao melhor aproveitamento e absorção do N disponível na solução do solo (VIEIRA FILHO *et al.*, 2017). O aumento de PB ocorre porque moléculas de cetoácido se combinam ao amônio para formar o ácido glutâmico, principal aminoácido transportador de N para síntese de proteínas na planta (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

As reduções observadas nos teores de PB das variedades sob reposição de 125% da ETo podem estar atreladas à lixiviação de nutrientes e à mineralização e imobilização do N (Figura 2 C). De fato, o excesso de água pode ter eluviado as formas iônicas, amoniacal (NH_4) e nítrica (NO_3) de N (LIBUTTI & MONTELEONE, 2017). Alternativamente, o N pode ter sido reduzido, assimilado e acumulado no vacúolo das células radiculares (KANT, 2018); pode ter ocorrido sorção física de N na argila ou quimiossorção na matéria orgânica (BRAUN *et al.*, 2018), ou ainda imobilizado na biomassa microbiana (XU & YUAN, 2017), fatores que dificultam a absorção de N e seu transporte para a síntese proteica nas plantas (BOULTER, 1970).

Os teores de EE das variedades BA, MI e OR cultivadas sob fertirrigação foram superiores aos relatados na literatura, que variam de 1,89% a 3,10% nas variedades de *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm Dyck e de 0,84% a 3,20% nas variedades de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (BATISTA *et al.*, 2003; BATISTA *et al.*, 2009; MENESES *et al.*,

2005; TOSTO *et al.*, 2007; CAVALCANTI *et al.*, 2008; CAVALCANTE *et al.*, 2014). Em função de sua elevada concentração calórica, o EE representa o principal constituinte energético da composição bromatológica (DETMANN *et al.*, 2006).

As variações observadas nos teores de EE em função dos níveis de reposição da ETo estão atreladas às alterações fisiológicas, sobretudo na atividade fotossintética e biossíntese de lipídeos, haja vista o papel primordial da água nestes processos. De fato, os ácidos graxos sintetizados nos cloroplastos são constituintes das membranas e dos corpos lipídicos, representando as gorduras que compoem o EE (TAIZ *et al.*, 2017). Teores expressivos de EE em palma forrageira foram relatados por Costa (2018) nas variedades BA (7,60%), MI (7,94%) e OR (7,96%) fertirrigadas com nitrogênio no semiárido brasileiro, ratificando os teores registrados nesta pesquisa.

Os teores de FDN das variedades BA, MI e OR, foram de 42, 53 e 33% sob nível de reposição de 25% da ETo; a BA teve redução significativa de FDN para 25% com o aumento da ETo até 125%; a MI teve redução de FDN para 31% sob reposição de 98% da ETo, seguida de aumento para 36% de FDN sob reposição de 125% da ETo; em sentido contrário, a OR teve aumento para 37% de FDN quando foi reposta 67% da ETo, ocorrendo redução para 30% de FDN sob reposição de 125% da ETo (Figura 3A).

As variedades BA e MI acumularam maior teor (23%) de FDA sob reposições de 85 e 80% da ETo, havendo reduções para 21% quando a reposição da ETo foi aumentada para 125%. Na variedade OR, o teor de FDA (18%) obtido com 25% da ETo foi reduzido para 15% quando a reposição da ETo foi aumentada para 125% (Figura 3B).

Sob reposição de 25% da ETo, as variedades BA, MI e OR tiveram acúmulo de 22, 18 e 25% de CNF; na variedade BA, foi registrado aumento para 31% de CNF com reposição de 125% da ETo, enquanto que na MI houve aumento para 27% de CNF com a reposição de 83% da ETo, seguido de redução para 22% de CNF quando ETo de 125% foi reposta; já na OR, ocorreu redução para 18% de CNF quando a reposição da ETo foi aumentada para 65%, seguindo-se de aumento para 33% de CNF sob reposição de 125% da ETo (Figura 3C).

As variedades BA, MI e OR acumularam teores de CHO de 64, 71 e 60% sob reposição de 25% da ETo; havendo redução para 56, 61 e 57% sob níveis de reposição de 125, 88 e 60% da ETo, respectivamente; no entanto, nas variedades MI e OR foram

registrados aumentos para 65 e 66% nos teores de CHO quando o nível de reposição foi aumentado para 125% da ETo (Figura 3D).

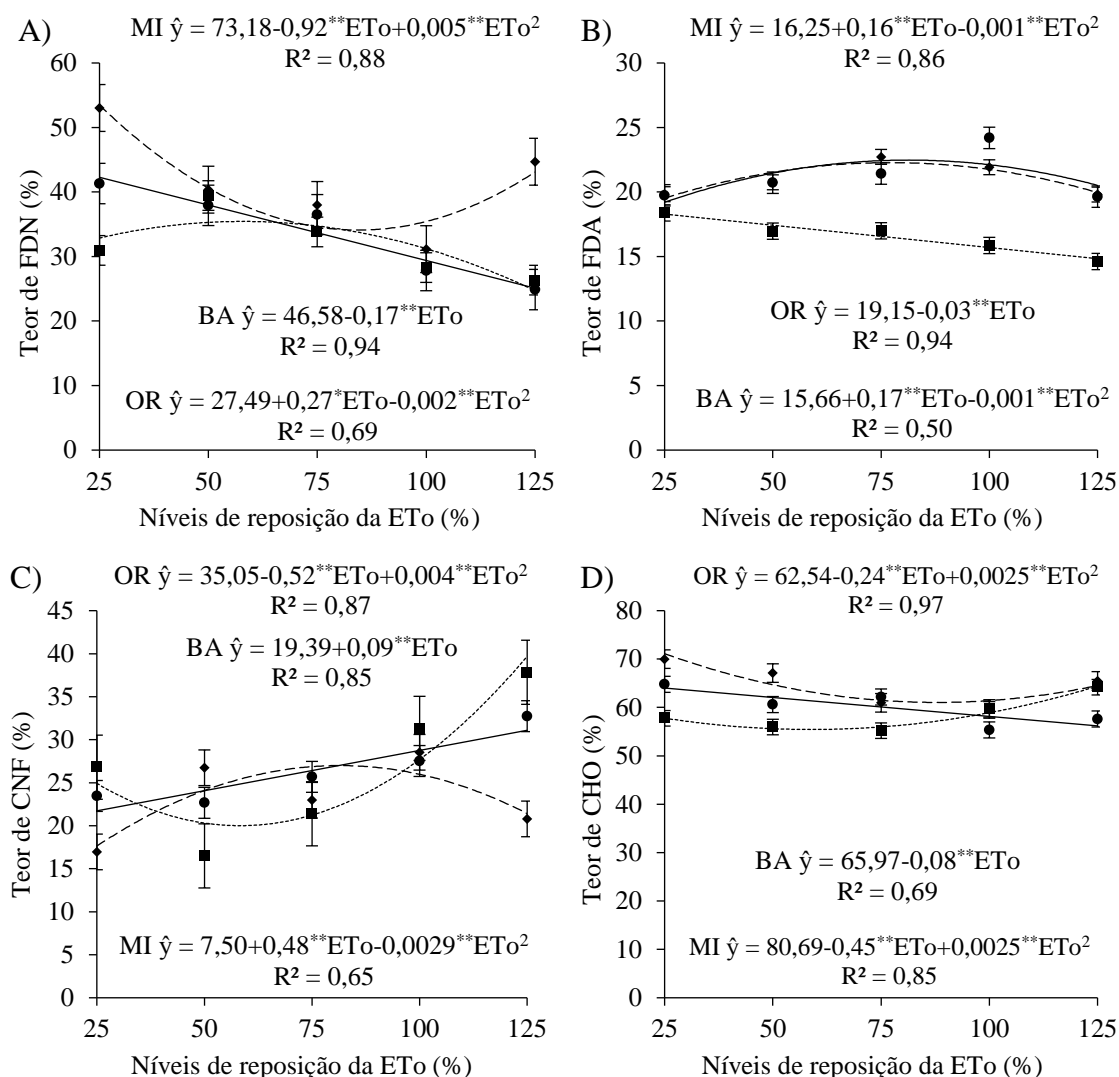


Figura 3. Teores de fibras insolúveis em detergente neutro (A), em detergente ácido (B), carboidratos não fibrosos (C) e carboidratos totais (D) de variedades de palma forrageira sob níveis de reposição da ETo. BA: Baiana (—●—), MI: Miúda (—◆—) e OR: Orelha de Elefante Mexicana (—■—). Campina grande, PB, 2018.

Os teores de fibras insolúveis em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) evidenciados nesta pesquisa foram superiores aos relatados na literatura para *Opuntia* spp. (13,69 a 27,69% de FDN e 7,64 a 22,39% de FDA, na MS) e *Nopalea* sp. (16,60 a 32,81% de FDN e 20,16 a 22,97% de FDA, na MS). Ressalte-se que a palma forrageira apresenta alta digestibilidade, pois seus teores de FDN e FDA são considerados baixos em relação à recomendação de níveis mínimos indicados para ruminantes (ANDRADE

et al., 2002; ARAÚJO *et al.*, 2004; MENEZES *et al.*, 2005; TORRES *et al.*, 2009; RAMOS *et al.*, 2011; MARQUES *et al.*, 2017; MOKOBOKI & SEBOLA, 2017).

As fibras da palma podem variar de acordo com época do ano, idade da planta, ordem do artigo, cultivar, manejo de adubação, espaçamento de plantio e disponibilidade hídrica (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2010). De fato, o estresse hídrico, provocado pelo excesso de água (125% da ETo) pode ter modificado o potencial de água no cladódio, a resistência estomática, a transpiração, a fotossíntese, a temperatura do cladódio e a turgescência celular, influenciando a formação das fibras, uma vez que estas podem ter se alongado em demasia no parênquima, reduzindo a rigidez da parede celular e resistência à tração das fibras, convergindo para menores teores de FDN e FDA (SEIXAS *et al.*, 2015; TAIZ *et al.*, 2017).

Os CNF são representados, majoritariamente, pelos açúcares solúveis, amido (de reserva) e pectina (de estruturação) que possuem degradação rápida; enquanto os carboidratos fibrosos (CF) compõem a parede celular, são representados por celulose e hemicelulose e são de degradação lenta e incompleta (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Pode-se inferir que os incrementos de CNF nas variedades BA e OR se devam ao aumento do status hídrico celular, maior atividade fotossintética e biossíntese de açúcares, que podem ter sido diluídos pelo excesso de água na variedade MI sob reposição de 125% da ETo (TAIZ *et al.*, 2017).

As reduções registradas nos teores de CHO na MS se devem ao incremento de água no solo ter promovido aumento nos teores de PB, EE e MM, haja vista que essas variáveis são utilizadas para os cálculos de CNF e CHO, de modo que os cálculos são feitos com base em 100% da MS, subtraindo-se as variáveis supracitadas (WEISS, 1999; SNIFFEN *et al.*, 1992). A palma forrageira é fonte de energia e rica em CNF, o que favorece o aumento do consumo de CNF pelos animais, sendo rapidamente fermentados no rúmen, melhorando o aporte de energia ao animal sem a necessidade de grande proporção de concentrados na ração (CAVALCANTI *et al.*, 2008).

7.1.3.2. Componentes principais

O espaço multidimensional das variáveis originais foi reduzido em duas dimensões, representadas pelos dois primeiros Componentes Principais (CP₁ e CP₂) com autovalores maiores que um ($\lambda > 1,00$). Juntos, estes CPs explicam 73,33% da

variância total (σ^2). O CP₁ explica 49,70% da variância total, sendo formado a partir dos teores de matéria seca, matéria mineral, fibras insolúveis em detergente neutro, extrato etéreo e carboidratos não fibrosos. O CP₂ representa 23,62% da variância remanescente, formado a partir dos teores de proteína bruta e fibras insolúveis em detergente ácido (Tabela 4).

Com base na análise de variância multivariada (MANOVA), utilizando-se do teste de Hotelling, verificou-se que houve diferença significativa entre as variedades de palma forrageira, níveis de reposição da ETo e interação entre estes fatores ($p < 0,001$) em relação às combinações lineares das variáveis nos dois CPs (Tabela 4).

Tabela 4. Autovalores, variância explicada, efeito de tratamentos e coeficientes de correlação entre Componentes Principais e variáveis. Campina Grande, PB, 2018.

CPs	λ	$\sigma^2\%$	p -Var	p -ETo	p -Int	Cargas Fatoriais (r)						
						MS	MM	PB	FDN	FDA	EE	CNF
CP ₁	3,48	49,70	0,000	0,000	0,000	-0,86*	0,73*	0,12	-0,93*	-0,21	-0,75*	0,85*
CP ₂	1,65	23,63	0,000	0,000	0,000	-0,05	-0,34	0,84*	0,02	0,78*	-0,46	-0,07

CPs: componentes principais; λ : autovalores; $\sigma^2\%$: porção da variância explicada; p -Var, p -ETo e p -Int: probabilidade de significância para efeito de variedades, evapotranspiração de referência, e interação entre estes fatores pelo teste de Hotelling; MS: matéria seca; MM: matéria mineral; PB: proteína bruta; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; EE: extrato etéreo; CNF: carboidratos não fibrosos; e *: variáveis consideradas no CP; $r = 0,10$ - $0,30$ (fraca); $r = 0,40$ - $0,60$ (moderada); $r = 0,70$ - $1,00$ (forte).

A redução das dimensões originais permite maior objetividade na separação das variedades de palma forrageira e observação do efeito dos níveis de reposição da ETo nestas variedades. A partir das cargas fatoriais, é possível identificar e selecionar variáveis com maior relevância para observação do efeito (LIU *et al.*, 2017). Em estudo com palma forrageira, Erre *et al.* (2009) utilizaram Análise de Componentes Principais (ACP) para redução de dimensões de dados originais e enfatizaram que a porção de variância não explicada pelos CPs se deve ao efeito residual ao acaso.

As porcentagens de variância evidenciadas nesta pesquisa foram superiores às descritas por Adli *et al.* (2017) que, estudando diversidade fenotípica de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., encontraram variâncias de 49,99% e 17,91% para CP₁ e CP₂, respectivamente, somando 67,90% de variância total. No entanto, Bendhifi *et al.* (2013) encontraram maiores valores de variância total de 84,64%, sendo 68,40% para CP₁ e 16,24% para CP₂ estudando diversidade genética de palma forrageira com base em variáveis morfológicas; e variância total de 29,97%, sendo 15,94% para CP₁ e 14,03%

para CP₂ com base em marcadores do polimorfismo do DNA amplificado ao acaso (RAPD - *Random Amplified Polymorphism DNA*).

Em pesquisa para caracterização físico-química de cactos das espécies *Opuntia dillenii* e *Opuntia ficus-indica*, a partir de 23 variáveis originais, Méndez *et al.* (2015) utilizaram-se de fatores gerados a partir de Análise de Componentes Principais para redução do elevado número de variáveis. Estes cientistas verificaram a necessidade de utilização de cinco fatores ($\lambda > 1,00$) para explicarem 81,40% da variância total, onde o primeiro fator explicou 39,70% e o segundo 21,10%. Nesta pesquisa, menor número de dimensões para explicar as diferenças entre variedades e níveis de reposição da ETo está associado ao menor número de variáveis originais inseridas na análise.

A projeção bidimensional das combinações de variedades de palma forrageira e níveis de reposição da ETo nos dois primeiros CPs está ilustrada nas Figuras 4 A e B. No primeiro Componente Principal (CP₁), verificou-se que a variedade Miúda (MI), cultivada sob níveis de reposição de 25 e 50% da ETo, acumulou teores médios mais expressivos de matéria seca (MS), fibras insolúveis em detergente neutro (FDN) e extrato etéreo (EE), com incrementos de 74%, 45% e 41% nestas variáveis quando comparada à média das variedades Baiana (BA) e Orelha de Elefante Mexicana (OR) cultivadas sob nível de reposição de 125% da ETo (Figura 4).

Ainda no CP₁, as variedades BA e OR cultivadas com reposição de 125% da ETo acumularam maiores teores médios de matéria mineral (MM) e carboidratos não fibrosos (CNF), com ganhos percentuais de 48% e 38% para as respectivas variáveis em relação à variedade MI com reposições de 25 e 50% da ETo. Valores intermediários de MS, FDN e EE foram evidenciados nas combinações entre as variedades OR, MI, BA e MI com os níveis de ETo de 50, 125, 25 e 75%, respectivamente. Para os teores de MM e CNF, valores intermediários foram obtidos nas combinações entre OR e BA com o nível de reposição de 100% da ETo.

No segundo Componente Principal (CP₂), verificou-se que a variedade BA sob reposições de 50 e 75% da ETo teve maior teor de PB e FDA, seguida da variedade MI com as reposições de 100 e 75% da ETo para as respectivas variáveis. Em contraste, a variedade Orelha de Elefante Mexicana sob níveis de reposição de 50, 75 e 100% expressou valores críticos de FDA e PB.

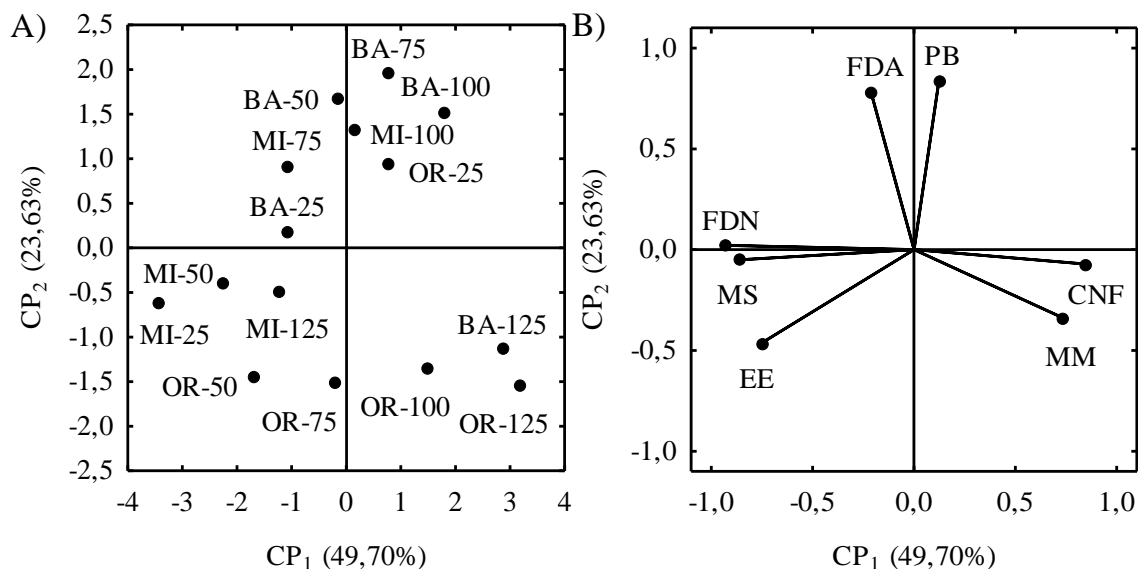


Figura 4. Projeção bidimensional (Biplot) das combinações de variedades de palma forrageira e níveis de reposição da ETo (A) e correlação de variáveis (B) nos dois primeiros Componentes Principais (CP₁ e CP₂). Campina Grande, PB, 2018.

As diferenças entre variedades de palma forrageira se devem à sua elevada taxa de alogamia, gerando variabilidade genética, facilitando adaptação destas plantas ao ambiente (ADLI *et al.*, 2017). De fato, o potencial genético das variedades BA, MI e OR podem ter sido expressos para maior acúmulo de matéria seca, matéria mineral, síntese proteica, extrato etéreo, fibras insolúveis em detergente neutro e ácido e teores de carboidratos não fibrosos e totais, notadamente em resposta ao sinergismo entre a disponibilidade hídrica e de nitrogênio fornecidos via fertirrigação durante o cultivo destas variedades de palma forrageira no semiárido brasileiro. Ressalte-se que os aumentos registrados nos teores de proteínas devidos à fertirrigação indicam domesticação destas espécies de palma forrageira (NAVA *et al.*, 2018).

7.1.4. Conclusões

A variedade ‘Baiana’ possui maiores teores de proteína bruta e fibras insolúveis em detergente ácido e expressa maior acúmulo destes constituintes bromatológicos com 85% de reposição da ETo e fertirrigação com 900 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

A variedade ‘Miúda’ acumula maior teor de matéria seca e fibras insolúveis em detergente neutro, havendo necessidade de reposição de 60% da ETo e fertirrigação com 900 kg ha⁻¹ de nitrogênio para expressão máxima destes constituintes.

A variedade Orelha de Elefante Mexicana possui maior acúmulo de matéria mineral e produção de carboidratos não fibrosos, sendo recomendada reposição de 90% da ETo e fertirrigação com 900 kg ha⁻¹ de nitrogênio para seu maior desempenho.

7.1.5. Literatura Citada

ADLI, B.; BOUTEKRAÏT, A.; TOUATI, M.; BAKRIA, T.; TOUATI, A.; BEZINI, E. Phenotypic diversity of *Opuntia ficus indica* (L.) MILL. in the Algerian steppe. **South African Journal of Botany**, v. 109, p. 66-74, 2017.

ALENCAR, B. R. A.; DUTRA, E. D.; SAMPAIO, E. V. de S. B.; MENEZES, R. S. C.; MORAIS JR, M. A. Enzymatic hydrolysis of cactus pear varieties with high solids loading for bioethanol production. **Bioresource Technology**, v. 250, p. 273-280, 2018.

ANDRADE, D. K. B.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C.; WANDERLEY, W. L.; SILVA, L. E. da; CARVALHO, F. F. R. de; ALVES, K. S.; MELO, W. S. de. Digestibilidade e absorção aparentes em vacas da raça holandesa alimentadas com palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 5, p. 2088-2097, 2002.

ARAÚJO, P. R. B.; FERREIRA, M. de A.; BRASIL, L. H. de A.; SANTOS, D. C. dos; LIMA, R. M. B.; VÉRAS, A. S. C.; SANTOS, M. V. F. dos; BISPO, S. V.; AZEVEDO, M. de. Substituição do Milho por Palma Forrageira em Dietas Completas para Vacas em Lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 1850-1857, 2004.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Experimentação Agronômica & AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos**. Funep, 2015.

BATISTA, A. M. V. MUSTAFA, A. F.; MCALLISTER, T.; WANG, Y.; SOITA, H.; MCKINNON, J. J. Effects of variety on chemical composition, in situ nutrient disappearance and in vitro gas production of spineless cacti. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, n. 5, p. 440-445, 2003.

BATISTA, A. M. V.; RIBEIRONETO, A. C.; LUCENA, R. B.; SANTOS, D. C.; DUBEUX JÚNIOR, J. B.; MUSTAFA, A. F. Chemical composition and ruminal

degradability of spineless cactus grown in Northeastern Brazil. **Rangeland Ecology & Management**, v. 62, n. 3, p. 297-301, 2009.

BAYAR, N.; FRIJI, M.; KAMMOUN, R. Optimization of enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal. **Food Chemistry**, v. 241, p. 127-134, 2018.

BENDHIFI, M.; BARAKET, G.; ZOURGUI, L.; SOUID, S.; SALHI-HANNACHI, A. Assessment of genetic diversity of Tunisian Barbary fig (*Opuntia ficus indica*) cultivars by RAPD markers and morphological traits. **Scientia Horticulturae**, v. 158, p. 1-7, 2013.

BOULTER, D. Protein Synthesis in Plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 21, p. 91-114, 1970.

BRANDÃO, D.; DUARTE, S. N.; JOSÉ, J. V.; SANTOS, H. T. dos; SAMPAIO, P. R. F. Produção e trocas gasosas do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) em função de níveis de depleção de água no solo. **Irriga**, v. 22, n. 4, p. 641-658, 2017.

BRAUN, J.; MOOSHAMMER, M.; WANEK, W.; PROMMER, J.; WALKER, T. W. N.; RÜTTING, T.; RICHTER, A. Full ¹⁵N tracer accounting to revisit major assumptions of ¹⁵N isotope pool dilution approaches for gross nitrogen mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 117, p. 16-26, 2018.

CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R. de A.; SILVA, L. M. da; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. da. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014.

CAVALCANTI, M. C. A.; BATISTA, A. M. V.; GUIM, A.; LIRA, M. de A.; RIBEIRO, V. L.; RIBEIRO NETO, A. C. Consumo e comportamento ingestivo de caprinos e ovinos alimentados com palma gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) e palma orelha-deelefante (*Opuntia* sp.). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 30, n. 2, p. 173-179, 2008.

COSTA, P. da S. **Composição bromatológica de variedades de palma forrageira fertirrigadas com nitrogênio no semiárido brasileiro**. 36 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB, 2018.

DANTAS, S. F. de A.; LIMA, G. F. da C.; MOTA, E. P. da. Viabilidade econômica da produção de palma forrageira irrigada e adensada no semiárido Potiguar. **Revista iPecege**, v. 3, n. 1, p. 59-74, 2017.

DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S. de C.; PINA, D. dos S.; CAMPOS, J. M. de S.; PAULINO, M. F.; OLIVEIRA, A. S. de; SILVA, P. A. Estimação da digestibilidade do extrato etéreo em ruminantes a partir dos teores dietéticos: desenvolvimento de um modelo para condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 4, p. 1469-1478, 2006.

DINTWE, K.; OKIN, G. S. Soil organic carbon in savannas decreases with anthropogenic climate change. **Geoderma**, v. 309, p. 7-16, 2018.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; ARAÚJO FILHO, J. T. de; SANTOS, M. V. F. dos; LIRA, M. de A.; SANTOS, D. C. dos; PESSOA, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira – Clone IPA-201. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, p. 129-135, 2010.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F. dos; LIRA, M. de A.; SANTOS, D. C. dos; FARIAS, I.; LIMA, L. E.; FERREIRA, R. L. C. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 67, p. 357-372, 2006.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas – princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403p.

ERRE, P.; CHESSA, I.; NIEDDU, G.; JONES, P. G. Diversity and spatial distribution of *Opuntia* spp. in the Mediterranean Basin. **Journal of Arid Environments**, v. 73, n. 12, p. 1058-1066, 2009.

FROTA, M. N. L.; CARNEIRO, M. S. de S.; CARVALHO, G. M. C.; ARAÚJO NETO, R. B. de. **Palma Forrageira na Alimentação Animal**. 21. ed. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2015. 47p.

GOVAERTS, B.; SAYRE, K. D.; LICHTER, K.; DENDOOVEN, L.; DECKERS, J. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. **Plant and Soil**, v. 291, p. 39-54, 2007.

HAIR, F. J.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**. Tradução Adonai Schlup Sant'Anna. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HOTELLING, H. Multivariate quality control. In: EISENHART, C.; HASTAY, M. W.; WALLIS, W. A. (Ed.). **Techniques of Statistical Analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1947.

KANT, S. Understanding nitrate uptake, signaling and remobilisation for improving plant nitrogen use efficiency. **Seminars in Cell & Developmental Biology**, v. 74, p. 89-96, 2018.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150 cm x 200 cm.

KUNDZEWICZ, Z. W.; KRYSANOVA, V.; BENESTAD, R. E.; HOV, O.; PINIEWSKI, M.; OTTO, I. M. Uncertainty in climate change impacts on water resources. **Environmental Science & Policy**, v. 79, p. 1-8, 2018.

LI, X.; KANG, S.; ZHANG, X.; LI, F.; LU, H. Deficit irrigation provokes more pronounced responses of maize photosynthesis and water productivity to elevated CO₂. **Agricultural Water Management**, v. 195, p. 71-83, 2018.

LIBUTTI, A.; MONTELEONE, M. Soil vs. groundwater: The quality dilemma. Managing nitrogen leaching and salinity control under irrigated agriculture in Mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, v. 186, p. 40-50, 2017.

LIMA, G. F. da C.; WANDERLEY, A. de M.; GUEDES, F. X.; REGO, M. M. T.; DANTAS, F. D. G.; SILVA, J. G. M. da; NOVAES, L. P.; AGUIAR, E. M. de. **Palma Forrageira irrigada e adensada: Uma reserva forrageira estratégica para o Semiárido Potiguar**. Parnamirim: EMPARN, 2015. 62p.

- LIU, Z.; SONG, R.; ZENG, D.; ZHANG, J. Principal components adjusted variable screening. **Computational Statistics & Data Analysis**, v. 110, p. 134-144, 2017.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed atual e ampliado. Viçosa: UFV, 2012. 355p.
- MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S. de P.; MOURTHÉ, M. H. F.; BRAZ, T. G. dos S.; PIRES NETO, O. de S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.
- MARTINS, M. A.; TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D. A.; ALVALÁ, R. C. S.; GIAROLLA, A.; GAROFOLO, L. L.; SIQUEIRA JÚNIOR, J. L.; PAOLICCHI, L. T. L. C.; PINTO, G. L. N. Improving drought management in the Brazilian semiarid through crop forecasting. **Agricultural Systems**, v. 160, p. 21-30, 2018.
- MÉNDEZ, L. P.; FLORES, F. T.; MARTÍNS, J. D.; RODRÍGUEZ, E. M.; ROMERO, C. D. Physicochemical characterization of cactus pads from *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica*. **Food Chemistry**, v. 188, p. 393-398, 2015.
- MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. **A palma no Nordeste do Brasil**: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. 2. ed. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. 258p.
- MOKOBOKI, K.; SEBOLA, N. Chemical composition and feed intake of *Opuntia* cladodes varieties offered to goats. **Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 32, n. 1, p. 5096-5103, 2017.
- NAVA, F. G.; HERRERA, M. L.; PEÑA-VALDIVIA, C. B.; GÓMEZ, C. R.; SANTILLÁN, Y. M. Chemical characteristics of non-starch polysaccharides of *Opuntia* cladodes as evidence of changes through domestication. **Food Bioscience**, v. 22, p. 69-77, 2018.
- OLIVEIRA, V. da S.; SANTANA NETO, J. A.; VALENÇA, R. de L.; SILVA, B. C. D. da; SANTOS, A. C. P. dos. Carboidratos fibrosos e não fibrosos na dieta de ruminantes e seus efeitos sobre amicrobiota ruminal. **Veterinária Notícias**, v. 22, n. 2, p. 1-18, 2016.

PEREIRA, P. de C.; SILVA, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; MORAIS, J. E. F. de; SANTOS, D. C. dos. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 184-195, 2015.

RAMOS, J. P. de F.; LEITE, M. L. de M. V.; OLIVEIRA JUNIOR, S. de; NASCIMENTO, J. P. do; SANTOS, E. M. Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Caatinga**, v. 24, p. 41-48, 2011.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D.C.: U.S. Salinity Laboratory, 1954. 160p.

SÁNCHEZ, A. S.; ALMEIDA, M. B.; TORRES, E. A.; KALID, R. A.; COHIM, E.; GASPARATOS, A. Alternative biodiesel feedstock systems in the Semi-arid region of Brazil: Implications for ecosystem services. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 2744-2758, 2018.

SANTIAGO, E. D.; DOMÍNGUEZ-FERNÁNDEZ, M.; CID, C.; PEÑA, M. P. D. Impact of cooking process on nutritional composition and antioxidants of cactus cladodes (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 240, p. 1055-1062, 2018.

SANTOS, D. C. dos; FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; SANTOS, M. V. F. dos; ARRUDA, G. P. de; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. de. **Manejo e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48p. (IPA. Documentos, 30).

SEIXAS, A. A.; GOMES, V. M.; SERAFIM, V. F.; VIANA, W. A. Déficit hídrico em plantas forrageiras. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v. 24, n. 1, p. 1-14, 2015

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika Trust**, v. 52, n. 3/4, p. 591-609, 1965.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos (Métodos químicos e biológicos)**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235p.

SILVA, P. F. da. **Crescimento e produtividade de palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada**. 2017. 79 p. Tese (Doutorado em

Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2017.

SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J.; FOX, D. G.; RUSSELL, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v. 70, n. 12, p. 3562-3577, 1992.

SOUSA, A. P. F. de. **Palma forrageira adubada e irrigada no Sertão Paraibano**. 2015. 54 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB, 2015.

STATSOFT, INC. **Programa computacional Statistica 7.0**. E. A. U. 2004.

SUASSUNA, P. **Lucratividade da Cultura da Palma Forrageira na Paraíba**. 1993. Disponível em: < www.joaosuassuna.hpg.ig.com.br/sistprod.htm - 5k ->. Acesso em 05 de dezembro de 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TORRES, L. C. L.; FERREIRA, M. de A.; GUIM, A.; VILELA, M. da S.; GUIMARÃES, A. V.; SILVA, E. C. da. Substituição da palma-gigante por palma-miúda em dietas para bovinos em crescimento e avaliação de indicadores internos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 11, p. 2264-2269, 2009.

TOSTO, M. S. L.; ARAÚJO, G. G. L. de; OLIVEIRA, R. L.; BAGALDO, A. R.; DANTAS, F. R.; MENEZES, D. R.; CHAGAS, E. C. de O. Composição química e estimativa de energia da palma forrageira e do resíduo desidratado de vitivinícolas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 8, n. 3, p. 239-249, 2007.

VIEIRA FILHO, P. S.; OLIVEIRA, G. Q. de; BISCARO, G. A.; MOTOMIYA, A. V. de A.; GEISENHOF, L. O. Fertirrigação com nitrogênio na cultura da rúcula. **Revista Agrarian**, v. 10, n. 38, p. 304-310, 2017.

VOLPE, M.; GOLDFARB, J. L.; FIORI, L. Hydrothermal carbonization of *Opuntia ficus-indica* cladodes: Role of process parameters on hydrochar properties. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 310-318, 2018.

WEISS, W. P. Energy prediction equations for ruminant feeds. In: Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers, 61, 1999, **Proceedings...**, Ithaca: Cornell University, p. 176-185. 1999.

XU, W.; YUAN, W. Responses of microbial biomass carbon and nitrogen to experimental warming: A meta-analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 115, p. 265-274, 2017.